

## Kostenbewertung der Anpassung zentraler Abwasserentsorgungssysteme bei Bevölkerungsrückgang

Schiller, Georg

Veröffentlichungsversion / Published Version  
Dissertation / phd thesis

### Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:

Schiller, G. (2010). *Kostenbewertung der Anpassung zentraler Abwasserentsorgungssysteme bei Bevölkerungsrückgang*. (IÖR Schriften, 51). Berlin: Rhombos-Verl.. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-396926>

### Nutzungsbedingungen:

Dieser Text wird unter einer Deposit-Lizenz (Keine Weiterverbreitung - keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

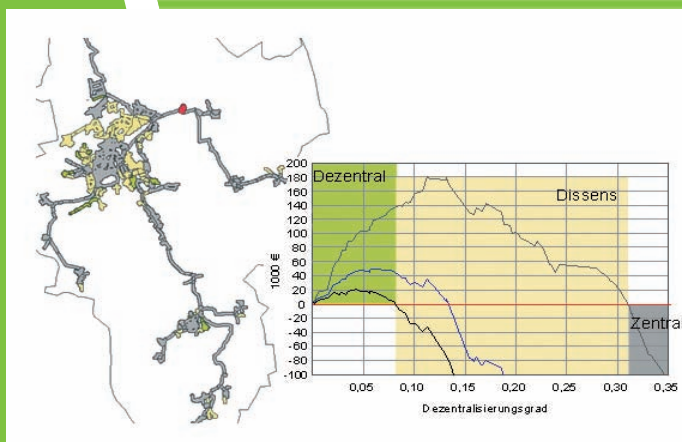
### Terms of use:

This document is made available under Deposit Licence (No Redistribution - no modifications). We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document. This document is solely intended for your personal, non-commercial use. All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.



Leibniz-Institut  
für ökologische  
Raumentwicklung



Georg Schiller

## Kostenbewertung der Anpassung zentraler Abwasserentsorgungs- systeme bei Bevölkerungsrückgang



**IÖR Schriften**

**Herausgegeben vom  
Leibniz-Institut für ökologische  
Raumentwicklung**

**RHOMBOS-VERLAG BERLIN**

## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar

## **Impressum**

### **Herausgeber**

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR)  
Direktor: Prof. Dr. Dr. h.c. Bernhard Müller  
Weberplatz 1  
01217 Dresden  
Tel.: (0351) 4679-0  
Fax.: (0351) 4679-212  
E-Mail: [info@ioer.de](mailto:info@ioer.de)  
Homepage: <http://www.ioer.de>

### **Verlag**

RHOMBOS-VERLAG  
Kurfürstenstraße 17  
10785 Berlin  
E-Mail: [verlag@rhombos.de](mailto:verlag@rhombos.de)  
Homepage: <http://www.rhombos.de>  
VK-Nr. 13597

Druck: dbusiness.de GmbH, Berlin

Printed in Germany

© 2010 RHOMBOS-VERLAG, Berlin

Alle Rechte vorbehalten.

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.

Kein Teil dieses Werkes darf außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Titelbild: Georg Schiller

**ISBN: 978-3-941216-70-9**

**IÖR** Schriften Band 51 • 2010

**Georg Schiller**

**Kostenbewertung  
der Anpassung zentraler  
Abwasserentsorgungssysteme  
bei Bevölkerungsrückgang**

**Genehmigte Dissertation**

Zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur  
an der Fakultät Architektur, Bauingenieurwesen und Stadtplanung  
der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus

Disputation: 26. April 2010

**Gutachter:**

Prof. Dr.-Ing. Matthias Koziol  
BTU Cottbus, Lehrstuhl Stadttechnik

Prof. Dr.-Ing. Stefan Siedentop  
Universität Stuttgart, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung

Prof. Dr.-Ing. em. Raimund Herz

## Vorwort

Rückläufige Bevölkerungszahlen und Siedlungsflächenwachstum führen zu einem Anstieg der Kosten für leitungsgebundene Infrastrukturen. Dies gilt in besonderer Weise für die Abwasserentsorgung, die in Deutschland überwiegend über die öffentliche Kanalisation erfolgt. Im Falle geringer Siedlungsdichten können dezentrale Abwassersysteme Kostenvorteile gegenüber zentralen Systemen aufweisen. Mit der vorliegenden Arbeit sollen Antworten darauf gefunden werden, inwieweit Dezentralisierung zu einer Verringerung der Erschließungskosten auch im bereits erschlossenen Siedlungsbestand beitragen kann. Am Beispiel eines realen Entsorgungsgebietes werden anhand von Modellrechnungen Kosten der Transformation eines zentralen Abwassersystems zu dezentralen Strukturen berechnet und Erfolgsfaktoren für das Erreichen von Kosteneinsparpotenzialen benannt. Hierzu wird ein Verfahren entwickelt, das den Entwurf kleinräumig differenzierter Transformationspfade und deren Kostenbewertung erlaubt und so vielfältige Anwendungsmöglichkeiten bei Fragen der strategischen Siedlungsentwicklung und Infrastrukturanpassung eröffnet.

Danken möchte ich all denjenigen, die mich bei der Erstellung dieser Dissertation unterstützt haben. Für die sehr engagierte und unkonventionelle fachliche Begleitung gilt mein besonderer Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Matthias Koziol, Lehrstuhl Stadttechnik der BTU Cottbus. Den Herren Prof. Dr.-Ing. Stefan Siedentop, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung der Universität Stuttgart sowie Prof. Dr.-Ing. em. Raimund Herz danke ich ausgesprochen herzlich für die Übernahme der weiteren Gutachten sowie für die kritische Durchsicht des Manuskripts. Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Wolfriedrich Kalusche, Lehrstuhl Planungs- und Bauökonomie der BTU Cottbus bedanke ich mich für die Unterstützung durch die Übernahme des Vorsitzes der Promotionskommission.

Danken möchte ich auch den Kolleginnen und Kollegen des IÖR für die vielfältige inhaltliche und formale Unterstützung. Clemens Deilmann, Prof. Dr. Dr. h. c. Bernhard Müller sowie Dr. Gerd Linz für die konstruktive Diskussion im Rahmen des Begleitgremiums, Robert Hecht und Hendrik Herold für die Unterstützung insbesondere bei Fragen der GIS-Anwendung und Ruth Böhm für die redaktionelle Durchsicht des Manuskripts. Jörg Walther, Mitarbeiter des Lehrstuhls Stadttechnik der BTU Cottbus danke ich für seine Hinweise im Rahmen zahlreicher Diskussionen sowie der Manuskriptdurchsicht. Ebenso danke ich der EWAG Kamenz, insbesondere Herrn Krüger sowie bei Frau Skorloff, für das entgegengebrachte Vertrauen, dem Interesse an dem Thema und nicht zuletzt für die zur Verfügung gestellten Daten.

Meiner Familie gilt mein ganz besonderer Dank für die vielfältige Unterstützung, vor allem aber für ihre Geduld und das Durchhaltevermögen.

Georg Schiller

Dresden im August 2010



## Inhaltsübersicht

|  |            |
|--|------------|
| Zusammenfassung.....   | 13         |
| Summary.....   | 15         |
| Kurzfassung .....  | 17         |
| 1 Einführung .....   | 27         |
| <b>A Grundlagen .....</b>  | <b>45</b>  |
| 2 Abwasserentsorgung – Begriffe und Strukturdaten.....                                       | 45         |
| 3 Zentral oder Dezentral .....   | 53         |
| 4 Kostenwirkungen des Nachfragerückgangs im System der<br>zentralen Abwasserentsorgung ..... | 61         |
| <b>B Entwicklung des Bewertungsverfahrens .....</b>  | <b>71</b>  |
| 5 Untersuchungsgebiet.....   | 71         |
| 6 Siedlungsmodell.....   | 75         |
| 7 Infrastrukturmodell .....  | 107        |
| 8 Bezugsmodell .....   | 123        |
| 9 Sequenzanalyse .....   | 137        |
| 10 Kostenmodell .....  | 151        |
| <b>C Modellrechnungen .....</b>  | <b>171</b> |
| 11 Zukunftsprojektion Siedlungsmodell.....   | 171        |
| 12 Kostenrechnung .....  | 179        |
| <b>D Interpretation und Ergebnisse .....</b>   | <b>203</b> |
| 13 Auswertung und Interpretation.....  | 203        |
| 14 Ergebnisse und Fazit .....  | 221        |
| 15 Forschungs- und Entwicklungsbedarf.....   | 231        |
| Literatur .....  | 235        |
| Abbildungsverzeichnis .....  | 247        |
| Tabellenverzeichnis.....   | 251        |
| Anlage Kostenkennwerte.....  | 253        |

## Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Zusammenfassung.....   | 13 |
| Summary.....   | 15 |
| Kurzfassung.....   | 17 |
| 1 Einführung.....  | 27 |
| 1.1 Hintergrund.....   | 27 |
| 1.1.1 <i>Demografische Entwicklung in Deutschland</i> .....                  | 27 |
| 1.1.2 <i>Konsequenzen für die Abwasserentsorgung</i> .....                   | 29 |
| 1.1.3 <i>Mögliche Handlungsansätze</i> .....                                 | 32 |
| 1.2 Problemaufriss.....  | 34 |
| 1.3 Ziel, Forschungsfragen und Hypothese.....                                | 36 |
| 1.4 Forschungskonzept.....   | 36 |
| 1.4.1 <i>Einordnung und Abgrenzung</i> .....                                 | 36 |
| 1.4.2 <i>Konzeption des Bewertungsverfahrens</i> .....                       | 38 |
| 1.4.3 <i>Einbindung des Bewertungsverfahrens in das Gesamtvorhaben</i> ..... | 39 |
| 1.5 Aufbau der Arbeit.....   | 41 |
| A Grundlagen .....   | 45 |
| 2 Abwasserentsorgung – Begriffe und Strukturdaten.....                       | 45 |
| 2.1 Abwasserarten.....   | 45 |
| 2.2 Abwasserbeseitigung .....  | 46 |
| 2.3 Abwasserströme.....  | 46 |
| 2.4 Anschlussgrad .....  | 48 |
| 2.5 Spezifische Kanallängen und Altersstruktur der Kanalisation .....        | 49 |
| 3 Zentral oder Dezentral .....   | 53 |
| 3.1 Stellung dezentraler Entwässerungssysteme in der Abwasserwirtschaft..... | 53 |
| 3.2 Begriffliche Abgrenzung von zentraler und dezentraler Entwässerung ..... | 56 |
| 3.2.1 <i>Vorbemerkung</i> .....  | 56 |
| 3.2.2 <i>Räumliche Dimension der Zentralisierung</i> .....                   | 57 |
| 3.2.3 <i>Konzepte der Stoffstromtrennung</i> .....                           | 58 |
| 3.2.4 <i>Dezentrale Kreislaufführung</i> .....                               | 58 |

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 4     | Kostenwirkungen des Nachfragerückgangs im System der zentralen Abwasserentsorgung ..... | 61  |
| 4.1   | Aspekte des Nachfragerückgangs .....  | 61  |
| 4.1.1 | Mengeneffekt .....  | 61  |
| 4.1.2 | Dichte- und Flächeneffekt .....   | 63  |
| 4.2   | Funktionale Beeinträchtigungen .....  | 65  |
| 4.3   | Kosteneffekte .....   | 65  |
| 4.3.1 | Skaleneffekt .....  | 65  |
| 4.3.2 | Remanenzeffekt .....  | 67  |
| 4.3.3 | Redundanzen .....   | 68  |
| 4.3.4 | Einnahmeeffekte und finanzieller Handlungsspielraum .....                               | 69  |
| B     | Entwicklung des Bewertungsverfahrens .....  | 71  |
| 5     | Untersuchungsgebiet .....   | 71  |
| 5.1   | Lage .....  | 71  |
| 5.2   | Struktur .....  | 72  |
| 6     | Siedlungsmodell .....   | 75  |
| 6.1   | Stadtstrukturtypenansatz .....  | 75  |
| 6.2   | Strukturtypenkartierung .....   | 81  |
| 6.2.1 | Ausgangsdaten .....   | 81  |
| 6.2.2 | Automatische Gebäudeextraktion und Attributierung .....                                 | 82  |
| 6.2.3 | Fehlerkorrektur durch manuelle Nachkartierung .....                                     | 83  |
| 6.3   | Nachfrageparameter .....  | 85  |
| 6.3.1 | Abbildung der kleinräumigen Wohnungsverteilung .....                                    | 89  |
| 6.3.2 | Abbildung der kleinräumigen Einwohnerverteilung .....                                   | 99  |
| 6.3.3 | Abbildung der Gebäudeverteilung und der Gebäudebelegung .....                           | 103 |
| 7     | Infrastrukturmodell .....   | 107 |
| 7.1   | Kanalnetz .....   | 108 |
| 7.1.1 | Datenerhebung und -aufbereitung .....   | 108 |
| 7.1.2 | Kostenrelevante Merkmale .....  | 110 |
| 7.2   | Zentrale Behandlungsanlage .....  | 116 |
| 7.3   | Dezentrale Behandlungsanlagen .....   | 117 |
| 7.4   | Einwohnergleichwerte .....  | 121 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 8      | Bezugsmodell.....   | 123 |
| 8.1    | Konzeption .....  | 123 |
| 8.1.1  | Räumliche Überlagerung von Siedlungsflächen mit Kanälen.....  | 124 |
| 8.1.2  | Räumliche Zuordnung von Siedlungsflächen und Kanälen zu Rasterzellen .....                              | 126 |
| 8.1.3  | Herstellung des Bezugs von Siedlungsflächen zu Kanälen unter Berücksichtigung funktionaler Bezüge ..... | 127 |
| 8.2    | Abgrenzen des Entwässerungsgebietes .....   | 130 |
| 8.3    | Aufteilen des Entwässerungsgebietes in Teilgebiete .....  | 132 |
| 8.4    | Funktionale Bezüge zwischen Entsorgungseinheiten.....   | 134 |
| 9      | Sequenzanalyse .....  | 137 |
| 9.1    | Kostenentlastungshypothesen.....  | 137 |
| 9.2    | Kriterien zur Festlegung von Dezentalisierungsabfolgen.....   | 138 |
| 9.2.1  | Netzende .....  | 139 |
| 9.2.2  | Kanalaufwand.....   | 140 |
| 9.2.3  | Baualter.....   | 143 |
| 9.2.4  | Lokales Kosteneinsparpotenzial .....  | 144 |
| 9.3    | Transformationssequenzen.....   | 146 |
| 10     | Kostenmodell.....   | 151 |
| 10.1   | Vorüberlegungen.....  | 151 |
| 10.1.1 | Allgemeine Anforderungen .....  | 151 |
| 10.1.2 | Vergleichbarkeit von Zahlungsströmen .....  | 152 |
| 10.2   | Kostenbegriff.....  | 153 |
| 10.2.1 | Verwendeter Kostenbegriff .....   | 153 |
| 10.2.2 | Grenzkostenbetrachtung.....   | 153 |
| 10.2.3 | Abgrenzung zur Kostenermittlung der Gebührenkalkulation .....   | 154 |
| 10.2.4 | Abgrenzung zum Kostenbegriff der Kameralistik.....  | 154 |
| 10.3   | Kostenarten .....   | 155 |
| 10.3.1 | Laufende Kosten .....   | 155 |
| 10.3.2 | Kapitalkosten .....   | 156 |
| 10.3.3 | Einmalig auftretende Zahlungen .....  | 156 |
| 10.3.4 | Wertverlust und sunk costs .....  | 157 |
| 10.4   | Relevante Kostenarten für das Bewertungsverfahren .....   | 159 |
| 10.4.1 | Zusatzkosten (Transformationskosten) .....  | 159 |
| 10.4.2 | Kostenentlastungen .....  | 160 |

|   |            |
|---|------------|
| <b>10.5 Kostenkennwerte .....</b>   | <b>161</b> |
| 10.5.1 <i>Kostenkennwerte - Transformationskosten.....</i>  | 162        |
| 10.5.2 <i>Kostenkennwerte – Kostenentlastung.....</i>   | 165        |
| <b>10.6 Bewertungsdimensionen .....</b>   | <b>168</b> |
| 10.6.1 <i>Kostenentlastungspotenzial.....</i>   | 168        |
| 10.6.2 <i>Maximaler Dezentalisierungsgrad mit positivem<br/>            Kostenentlastungspotenzial.....</i>                   | 169        |
| 10.6.3 <i>Maximales Kostenentlastungspotenzial.....</i>   | 170        |
| <b>C Modellrechnungen .....</b>   | <b>171</b> |
| <b>11 Zukunftsprojektion Siedlungsmodell.....</b>   | <b>171</b> |
| <b>11.1 Betrachtungshorizont.....</b>   | <b>171</b> |
| <b>11.2 Bevölkerungsentwicklung.....</b>  | <b>171</b> |
| 11.2.1 <i>Gesamtentwicklung im Untersuchungsgebiet.....</i>   | 172        |
| 11.2.2 <i>Räumliche Ausdifferenzierung der Entwicklungsdynamik<br/>                innerhalb des Entsorgungsgebietes.....</i> | 173        |
| <b>11.3 Siedlungsentwicklung.....</b>   | <b>175</b> |
| 11.3.1 <i>Neubau .....</i>  | 175        |
| 11.3.2 <i>Rückbau .....</i>   | 176        |
| <b>12 Kostenrechnung .....</b>  | <b>179</b> |
| <b>12.1 Kosten alternativer Pfadausrichtungen .....</b>   | <b>179</b> |
| <b>12.2 Sensitivitätsbetrachtungen.....</b>   | <b>185</b> |
| 12.2.1 <i>Wirkungsweise der Einzelparameter.....</i>  | 186        |
| 12.2.2 <i>Wirkung der Einzelparameter .....</i>   | 193        |
| <b>12.3 Formulierung von Extrembildern.....</b>   | <b>198</b> |
| <b>D Interpretation und Ergebnisse .....</b>  | <b>203</b> |
| <b>13 Auswertung und Interpretation.....</b>  | <b>203</b> |
| <b>13.1 Überprüfung der Ausgangshypothese.....</b>  | <b>203</b> |
| 13.1.1 <i>Kostenbegriff.....</i>  | 204        |
| 13.1.2 <i>Räumliche Systemabgrenzung.....</i>   | 204        |
| 13.1.3 <i>Fokussierung auf das technische System der<br/>                Abwasserentsorgung .....</i>                         | 205        |
| 13.1.4 <i>Eingrenzung auf den Bereich Schmutzwasser .....</i>   | 205        |
| 13.1.5 <i>Unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten im<br/>                verbleibenden Netz.....</i>                     | 206        |
| 13.1.6 <i>Kosteneffekte im Bereich der zentralen Behandlungsanlage.....</i>   | 209        |
| 13.1.7 <i>Bilanzierungszeitpunkt und Baualter .....</i>   | 209        |
| 13.1.8 <i>Kosteneinsparpotenzial bezogen auf die Gesamtkosten .....</i>   | 212        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>13.2 Eignung des Bewertungsverfahrens.....</b>             | <b>213</b> |
| 13.2.1 <i>Abbildungsaufgabe.....</i>                          | <i>214</i> |
| 13.2.2 <i>Entwurfsaufgabe.....</i>                            | <i>218</i> |
| 13.2.3 <i>Bewertungsaufgabe .....</i>                         | <i>218</i> |
| 14 Ergebnisse und Fazit .....                                 | 221        |
| <b>14.1 Quantifizierung.....</b>                              | <b>221</b> |
| <b>14.2 Bewertungsverfahren .....</b>                         | <b>225</b> |
| <b>14.3 Nutzen für den strategische Planungsprozess .....</b> | <b>228</b> |
| 15 Forschungs- und Entwicklungsbedarf .....                   | 231        |
| Literatur .....   | 235        |
| Abbildungsverzeichnis .....                                   | 247        |
| Tabellenverzeichnis.....                                      | 251        |
| Anlage Kostenkennwerte .....                                  | 253        |



## Zusammenfassung

Rückläufige Bevölkerungszahlen und Siedlungsflächenwachstum führen zu einem Anstieg der Kosten für leitungsgebundene Infrastrukturen. Dies gilt in besonderer Weise für die Abwasserentsorgung, die in Deutschland überwiegend über die öffentliche Kanalisation erfolgt. Bei Neuerschließung können im Falle geringer Siedlungsdichten dezentrale Abwassersysteme Kostenvorteile gegenüber zentralen Systemen aufweisen. Lassen sich aber durch Dezentralisierung auch Kosten im bereits erschlossenen, von Schrumpfung betroffenen, Siedlungsbestand reduzieren? Um hierauf Antworten zu geben, werden in der vorliegenden Arbeit Kosten der Transformation zentraler Abwassersysteme hin zu stärker dezentral angelegten Strukturen berechnet. Hierzu wird ein Verfahren entwickelt, das eine Kostenbewertung der schrittweisen Dezentralisierung technischer Abwassersysteme ermöglicht.

Unter Verwendung geoinformatischer Analysewerkzeuge und Berücksichtigung abwassertechnischer Funktionsbezüge erfolgt eine modellhafte Abbildung von Infrastrukturangebot und Nachfrage nach Infrastrukturleistungen im erschlossenen Siedlungsbestand. Basierend hierauf werden Anpassungsoptionen in Form von Dezentralisierungspfaden entworfen. Entlang dieser Pfade erfolgt eine Bilanzierung von Transformationskosten und Kostenentlastungen. Betrachtet werden alle relevanten Kostenwirkungen im technischen System der Abwasserentsorgung, die infolge der Dezentralisierung auftreten. Zwei Bewertungsgrößen werden ermittelt. Das maximale Kostenentlastungspotenzial gibt Auskunft über die Höhe der erreichbaren Kostenentlastung. Der maximale Dezentralisierungsgrad gibt an, wie weit Dezentralisierung kostenneutral vorangebracht werden kann.

Kostenentlastungen lassen sich realisieren, wenn die Transformation entlang von Gebieten mit hohem Kanalaufwand erfolgt, die an den Netzen liegen und in denen hohe Erneuerungsmaßnahmen anstehen. Diese Konstellation ist im Untersuchungsgebiet selten anzutreffen. Entsprechend gering sind die durch Dezentralisierung erreichbaren Kosteneinsparungen. Sie liegen bei Bevölkerungsrückgang von 20 % bei einem Prozent, gemessen an den Gesamtkosten für die Bereitstellung des zentralen Systems. Bis zu 13 % der Entsorgungsgebietsfläche kann abgekoppelt und dezentralisiert werden, ohne dass die Kosten der Abwasserentsorgung insgesamt ansteigen. Insbesondere das junge Baualter der Kanäle in Teilgebieten mit geringen Anschlussdichten und daraus resultierende sunk costs, die im Falle einer Transformation mittelfristig bestehen bleiben, stehen der Realisierung höherer Kosteneinsparungen durch Dezentralisierung entgegen. Eine Übertragbarkeit dieser Aussagen ist für Ostdeutschland größtenteils gegeben. Unterschiede zeigen sich im Westen, wo im Mittel zwar ältere Kanäle anliegen, in der Regel aber deutlich stabilere Bevölkerungszahlen vorherrschen.

Dezentralisierung technischer Abwassersysteme im zentral erschlossenen Bestand kann demnach lediglich einen Teilbeitrag leisten, den infolge von Bevölkerungsrückgang



drohenden Anstieg von Entsorgungskosten zu dämpfen. Hierzu sind frühzeitige Weichenstellungen erforderlich. Anpassungsstrategien sind langfristig entlang geeigneter Pfade auszurichten und mit der Siedlungsentwicklungsplanung sowie weiteren Planungserfordernissen abzustimmen. Das in dieser Arbeit entwickelte Werkzeug kann den hierfür erforderlichen strategischen Planungsprozess unterstützen. Durch die Abschätzung von Kostenwirkungen möglicher Anpassungsoptionen sowie deren Verknüpfung mit Geodaten können Entwicklungsstrategien sowohl bei Fragen der Netztransformation als auch bei Fragen der Netzerweiterung konkretisiert und so starre Entwicklungspfade langfristig aufgebrochen werden. Die regionale Lösungsperspektive hilft, überkommunale Abhängigkeiten sichtbar zu machen und so Effizienzeinbußen aus unkoordiniertem Handeln entgegen zu treten. Auch bei Fragen der Transformation anderer leitungsgebundener Infrastrukturbereiche kann eine Kostenbewertung nach der entwickelten Methodik erfolgen.

## Summary

Declining populations and an expansion in settlement areas have led to a rise in the cost of pipeline networks for household supply and waste removal. This is particularly true for waste-water removal, which in Germany is primarily managed using public sewage systems. For settlements of low density, decentralised sewage system can help reduce costs in comparison to a centralised system. However, can decentralisation also lower costs in developed settlements undergoing shrinkage which are already connected to the waste-water network? In order to answer this question, the current paper calculates the costs of transforming a centralised sewage network to a more decentrally organised structure. For these calculations, a procedure has been developed to analyse the effect on costs when technical waste-water removal systems undergo stepwise decentralisation.

By making use of geo-analysis software tools and incorporating functional aspects of waste-water technology it has been possible to construct a model which can illustrate the supply and demand of infrastructure in developed settlements according to the infrastructural capacity. This is used to draw up potential solutions for adaptation in the form of decentralisation pathways, for which the costs of transformation can be balanced against the potential reduction in costs. Included in this approach are all relevant cost-related variables in the technical system of waste-water removal which arise as a result of decentralisation. Two evaluation parameters are investigated: the maximum potential for cost savings gives information on the size of the potential costs reductions, while the maximum degree of decentralisation indicates the extent to which decentralisation can be achieved while keeping costs unchanged.

Cost reductions can be realised by the transformation of areas with highly cost-intensive pipeline systems, which lie at the ends of networks and for which major renovation work is necessary. This constellation of factors is, however, rarely met in the area of investigation, and thus the projected cost savings by decentralisation are correspondingly low. For a population reduction of 20%, savings of only one percent against the total costs of the central system can be expected. Up to 13% of the area serviced by the pipeline network can be disconnected and decentralised without any rise in total costs for waste-water removal. In particular, recently constructed pipelines in areas with a low density of connections, for which sunk costs will remain into the medium term, counteract the realisation of savings by means of decentralisation. This statement is generally true for the eastern half of Germany. In the west of Germany the situation is different: Here the waste-water networks are older while the population levels are much more stable.

The decentralisation of waste-water infrastructure in a centrally designed system can thus only make a partial contribution to offsetting the rise in costs when population levels fall. The relevant authorities must react at an early stage. Suitable adaption

strategies must be drawn up for the long term, and must be coordinated with plans for settlement development as well as other planning requirements. The tool developed here can help to support the process of strategic planning. By estimating the cost impact of alternative plans of transformation, as well as linking this information to geo-data, it is possible to draw up detailed development strategies for the transformation of networks, as well as their expansion. Over the long term this will help to break down rigid development pathways. A regional perspective when finding solutions can help to illuminate interdependencies and thus avoid the lower efficiency of uncoordinated action. The developed procedure can also be usefully employed to analyse costs associated with the transformation of other pipeline networks and related infrastructure.

## Kurzfassung

In Deutschland ist die Bevölkerungsentwicklung seit 2003 rückläufig. Die positiven Wanderungssalden reichen insgesamt nicht mehr aus, die natürlichen Bevölkerungsverluste auszugleichen. Kleinräumig schlägt sich die Dynamik jedoch sehr unterschiedlich nieder. Wachstum und Schrumpfung treten gleichzeitig und räumlich benachbart auf. Weniger Einwohner und zurückgehende Dichten lassen Skaleneffekte schwinden, die eine kostengünstige zentrale Abwasserentsorgung ermöglichen. Vielerorts ist infolge dessen mit einem Anstieg spezifischer Kosten der in Deutschland überwiegend zentral organisierten Abwasserentsorgung zu rechnen. Vor diesem Hintergrund werden Dezentralisierungskonzepte als Option gegenüber zentralen Abwasserentsorgungssystemen auch im bereits zentral erschlossenen Siedlungsbestand diskutiert, die im Falle geringer Siedlungsdichten Kostenvorteile gegenüber zentralen Abwassersystemen aufweisen können. Hierzu liegen jedoch bislang keine praktischen Erfahrungen vor. Weder auf nationaler noch auf internationaler Ebene sind Beispiele bekannt, bei denen es zu einem Umbau noch funktionsfähiger zentraler Abwassersysteme zu dezentralen Einheiten gekommen wäre. Auch fehlen bislang Ansätze, mögliche Kostenfolgen der Dezentralisierung vorhandener zentraler Abwassersysteme im Siedlungsbestand zu quantifizieren.

Die vorliegende Arbeit setzt sich deshalb zum Ziel, Kostenfolgen der Dezentralisierung einer vorhandenen zentralen Abwasserentsorgung am Beispiel eines realen Entsorgungsgebietes zu schätzen. Dazu wird ein Verfahren entwickelt, das eine Kostenbewertung der Transformation technischer Systeme der zentralen Abwasserentsorgung hin zu stärker dezentral angelegten Strukturen ermöglicht. Ausgangspunkt ist die Hypothese, dass in von Schrumpfung betroffenen, zentral erschlossenen Entsorgungsgebieten Entsorgungskosten reduziert werden können, wenn in Teilgebieten mit überdurchschnittlich<sup>1</sup> hohem Erschließungsaufwand eine Dezentralisierung erfolgt.

Die Entwicklung des Kostenbewertungsverfahrens erfolgt entlang von drei Kernaufgaben, die mit dem Bewertungsverfahren zu bewältigen sind. So ist mit der Abbildungsaufgabe eine teilräumliche Beschreibung der vorhandenen Entsorgungs- und Siedlungsstruktur zu leisten. Dabei sind der Erschließungsaufwand ebenso zu berücksichtigen wie die funktionale Einbindung der Teilgebiete in das Erschließungsnetz. Mit der Entwurfsaufgabe sollen möglichst erfolgversprechende<sup>2</sup> Dezentralisierungsabfolgen aufgezeigt werden. In der Bewertungsaufgabe gilt es, Kosteneffekte dieser Dezentralisierungsabfolgen zu berechnen und einer Bewertung zuzuführen. Die Bearbeitung der drei Aufgabenblöcke erfolgt in Teilmodulen, die aufeinander aufbauen.

---

<sup>1</sup> gemessen am Erschließungsaufwand des Gesamtsystems

<sup>2</sup> „erfolgversprechend“ im Sinne des Erreichens hoher Kostenreduktionspotenziale

Die Abbildungsaufgabe wird in den Abbildungsmodulen Siedlungsmodell, Infrastrukturmodell und Bezugsmodell bearbeitet. Im Siedlungsmodell erfolgt die Beschreibung der kleinräumigen Verortung der Nachfrageparameter „Einwohner“ und „Gebäude“. Unter Rückgriff auf die Methodik des Strukturtypenansatzes wird ein Raumbezug zwischen Sachdaten der amtlichen Wohnungs- und Einwohnerstatistik und Flächendaten topografischer Karten hergestellt. Als Basisraumeinheit dienen die Gebäudegrundflächen des verwendeten Kartenwerkes. Die erforderliche Strukturtypenkartierung erfolgt durch Integration und Adaption eines vorliegenden Analysetools zur automatischen Siedlungsmustererkennung. Ausgehend davon werden kleinräumige Ausprägungen relevanter Nachfrageparameter in einem hierzu entwickelten Verfahren geschätzt und auf Konsistenz geprüft. Im Infrastrukturmodell erfolgt die Beschreibung der Physis der zentralen Abwasserinfrastrukturanlagen, und eine Überführung der Daten in ein Geoinformationssystem. Hierbei wird auf Sach- und Geodaten des örtlichen Entsorgungsunternehmens zurückgegriffen. Darüber hinaus werden Kenndaten dezentraler Komponenten beschrieben, welche eine Grundlage für die Modellierung des dezentralen Erschließungsaufwandes bilden. Die Verknüpfung von Siedlungs- und Infrastrukturmodell erfolgt im Bezugsmodell. In einer GIS<sup>3</sup>-Analyse werden drei Arbeitsschritte durchlaufen, um das relevante Entwässerungsgebiet abzugrenzen, dieses in einzelne Entsorgungseinheiten aufzuteilen sowie funktionale Bezüge zwischen diesen Entsorgungseinheiten zu beschreiben. Dies erfolgt aus dem Blickwinkel des Infrastrukturplaners. Ausgehend vom bestehenden Kanalnetz werden Planungsschritte des Entwässerungsentwurfs im rückwärtsgewandten Verfahren nachvollzogen. Hierbei verwendete Entwurfskriterien werden in modellierbare Zuordnungskriterien überführt. Die Herstellung des Bezugs zwischen Siedlungsflächendaten und Infrastrukturliniendaten erfolgt auf der Ebene der gebildeten Entsorgungseinheiten. Das aus diesen Analyseschritten resultierende schlauchförmig Gebilde, das sich entlang der Kanaltrassen durch den Siedlungsbestand zieht und die gebildeten Entsorgungseinheiten in Fließrichtung des Abwassers aufreihet, wird mit der Metapher Schlauchmodell beschrieben, die damit den bislang verwendeten Arbeitsbegriffs des Bezugsmodells ersetzt.

Die Entwurfsaufgabe wird im Modul Sequenzanalyse geleistet. Hier werden Dezentralisierungsabfolgen bezogen auf die Entsorgungseinheiten beschrieben. Die zu leistende Einschätzung zu erwartender Kostenwirkungen der Dezentralisierungsbilder erfolgt durch die Einbindung von Kostenentlastungshypothesen in den Entwurfsprozess. Drei alternative Dezentralisierungspfade werden entlang festgelegter Regeln formuliert, welche die Priorität der Abkopplung von Entsorgungseinheiten bestimmen. Entsprechend der zugrunde liegenden Kriterien werden diese mit „Lokales Kosteneinsparpo-

---

<sup>3</sup> Mit GIS wird ein Geografisches Informationssystem bezeichnet. Dies ist ein „rechnergestütztes Informationssystem, das aus Hardware, Software, Daten und den Anwendungen besteht. Mit ihm können raumbezogene Daten digital erfasst und redigiert, gespeichert und reorganisiert, modelliert und analysiert sowie alphanumerisch und grafisch präsentiert werden.“ (Bill 1994).

tenzial (LEP)<sup>4</sup>, „Kanalaufwand“ sowie „Baualter“ bezeichnet. Allen betrachteten Pfaden ist gemein, dass sie jeweils an Entsorgungseinheiten ansetzen, die sich an den Enden des Kanalnetzes befinden.

Im Kostenmodell werden die Grundlagen für die Kostenbewertung geschaffen. Dem Modell liegt ein am Ressourcenverbrauch orientierter Kostenbegriff der betriebswirtschaftlichen Kosten-Leistungsrechnung zugrunde. Betrachtet werden Jahreskosten. Die Berechnung der Kapitalkosten erfolgt unter Verwendung der Annuitätenmethode. Besondere Festlegungen werden für einmalig auftretende Zahlungen ohne Gegenwert (Stilllegungskosten) sowie für den Fall des vorzeitigen Rückbaus von Anlagenteilen (bilanzieller Wertverlust) getroffen. Erstere werden als Investition in die dezentrale Struktur interpretiert und wie Kapitalkosten behandelt. Letztere stellen sunk costs dar, die bis zum Ende der vorgesehenen Nutzungsdauer auch bei physischem Rückbau der Anlagen bestehen bleiben. Die Kostenwirkungen werden aus der Differenz der Kostenentlastungen und Transformationskosten berechnet, die sich durch die simulierten Dezentralisierungsabfolgen einstellen. Das Ergebnis gibt Auskunft über das erreichbare, über die erfolgten Dezentralisierungsschritte aufsummierte, Kostenentlastungspotenzial. Zur Bewertung dieser Kostenwirkungen werden zwei Kriterien bereitgestellt: Das maximale Kostenentlastungspotenzial gibt Auskunft über die maximale Höhe des erreichbaren Kosteneinsparpotenzials innerhalb eines Pfades. Der maximale Dezentralisierungsgrad gibt an, wie weit Dezentralisierung entlang des Pfades unter der Maßgabe positiver Kostenentlastungspotenziale vorangebracht werden kann.

Zur Durchführung von Modellrechnungen werden für das Untersuchungsgebiet Annahmen zur künftigen demografischen Entwicklung und zur erwarteten Bautätigkeit getroffen. Der Betrachtungshorizont wird mit 30 Jahren festgesetzt. Für diesen Zeitraum wird für das Untersuchungsgebiet in Anlehnung an vorliegende Vorausberechnungen ein Bevölkerungsrückgang in Höhe von 20 % angenommen. Diese Größe wird in den Modellrechnungen um +/-10 %-Punkte variiert, zudem werden Varianten der räumlichen Ausdifferenzierung der Entwicklungsdynamik im Untersuchungsgebiet betrachtet. Letztere werden mit polarisierenden Bildern beschrieben, die einem Suburbanisierungs- sowie einem Reurbanisierungstrend folgen. Die Bautätigkeit wird entsprechend der jüngsten Dynamik in den anliegenden Gemeinden mit einer Einfamilienhaus-Neubauquote von 0,5 % pro Jahr angesetzt. Im Mehrfamilienhausbereich ist die Neubautätigkeit nahezu zum Erliegen gekommen. Hier wird angenommen, dass

---

<sup>4</sup> Das lokale Kosteneinsparpotenzial (LEP) entspricht der Höhe der Kosten innerhalb einer Entsorgungseinheit, die durch die Stilllegung der Kanäle entfallen, abzüglich der Kosten, die durch den Ausbau der dezentralen Struktur entstehen. Dabei wird für die Entsorgungseinheit jeweils angenommen, dass sie sich zum Zeitpunkt der Dezentralisierung am Netzeende befindet.

sich die Bautätigkeit dieses Segments auf Ersatzneubau konzentriert. Die Abrisstätigkeit stellt keine aktive Modellgröße dar, sodass hier keine Festlegungen erfolgen<sup>5</sup>.

Die unter den getroffenen Festlegungen resultierenden potenziellen Kostenentlastungen lassen sich grafisch durch den Verlauf des Kostenentlastungspotenzials darstellen, das sich über die Dezentralisierungsschritte aufsummiert. Dies erfolgt in Abbildung 0-1 für die drei betrachteten Pfade bezogen auf den Dezentralisierungsgrad<sup>6</sup>, der sich entlang der durchlaufenen Dezentralisierungsschritte einstellt. Das höchste Kostenentlastungspotenzial ( $KEP_{max}$ ) entsteht im Pfad LEP mit rund 49.800 €/a, der geringste Wert im Pfad Kanalaufwand mit ca. 15.000 €/a. Hinsichtlich des maximalen Dezentralisierungsgrades ( $DG_{max}$ ) reihen sich die Pfade nach der gleichen Rangfolge auf. Maximal können 13 % der Flächen dezentralisiert werden, ohne dass das Kosteneinsparpotenzial negative Werte annimmt.

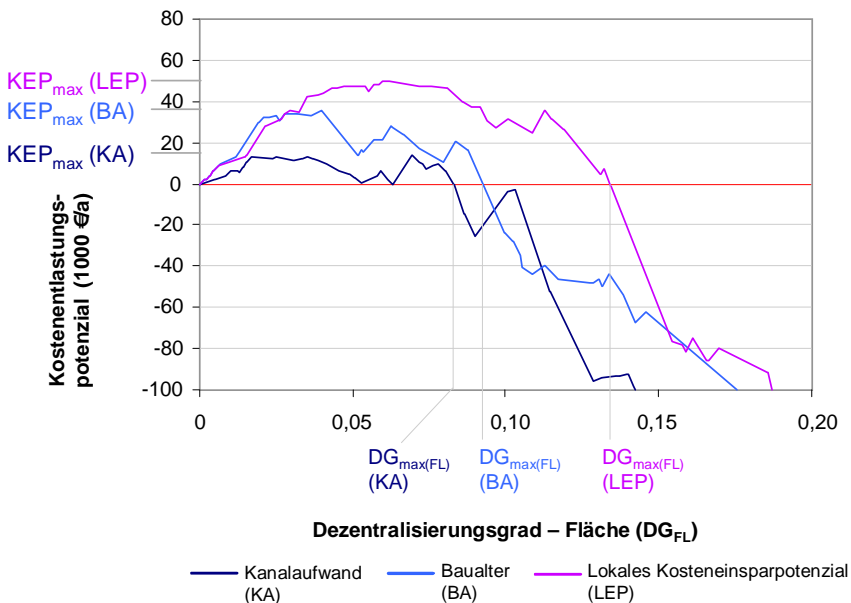


Abbildung 0-1: Kostenbilanzverlauf der Dezentralisierungspfade bezogen auf den Dezentralisierungsgrad (Fläche)

Auch die räumliche Struktur der resultierenden Dezentralisierungszustände bei  $KEP_{max}$  und  $DG_{max}$  unterscheiden sich zwischen den Pfaden deutlich. So finden sich die dezentralisierten Zustände bei  $KEP_{max}$  und  $DG_{max}$  unterscheiden sich zwischen den Pfaden deutlich. So finden sich die dezentralisierten Zustände bei  $KEP_{max}$  und  $DG_{max}$  unterscheiden sich zwischen den Pfaden deutlich.

<sup>5</sup> Für die Modellrechnung ist lediglich die Anzahl bewohnter Gebäude relevant. Hierzu werden Annahmen getroffen. Leerstehende und abgerissene Gebäude werden gleichbehandelt und somit nicht unterschieden.

<sup>6</sup>  $DG_{FL}$  (Dezentralisierungsgrad–Fläche) = dezentralisierte Gebietsfläche bezogen auf die Fläche des Entsorgungsgebietes

tralisierten Teilgebiete im Pfad Kanalaufwand überwiegend am Rande peripherer Ortslagen. Im Pfad Baualter und abgeschwächt im Pfad LEP erfolgt die Dezentralisierung dagegen verstärkt an den Randbereichen der Siedlungskerne des Entsorgungsgebietes.

Ob diese Ergebnisse einer Variation der Eingangsparameter Stand halten, wird in Sensitivitätsbetrachtungen hinterfragt. Variiert werden finanzmathematische Parameter, Annahmen zur Demografiedynamik sowie Modellparameter zur technischen Ausstattung. Bei allen Varianten erweist sich die Vorrangstellung des Pfades LEP hinsichtlich beider betrachteter Kenngrößen ( $KEP_{\max}$  und  $DG_{\max}$ ) als stabil. Die Analysen zeigen zudem, dass, je nach Ausprägung der Einzelparameter, die Überlagerung der Kostenwirkungen zu Verstärkungs- und Kompensationseffekten führen kann. Durch die Bündelung der Merkmalsausprägungen mit gleicher Wirkungsrichtung lassen sich theoretische Extrembilder formulieren, die Extremausprägungen des maximalen Dezentralisierungsgrades und des maximalen Kosteneinsparpotenzials erwarten lassen („best-case“-Fall und „worst-case“-Fall). Im „best-case“-Fall werden jeweils Parameterausprägungen berücksichtigt, die zu den höchsten Ausprägungen des maximalen Dezentralisierungsgrades und damit auch des maximalen Kosteneinsparpotenzials führen. Im „worst-case“-Fall werden Parameterausprägungen gebündelt, die zu den niedrigsten Ausprägungen der beiden Größen führen. Werden Kosteneinsparpotenziale mit diesen Annahmenbündeln berechnet, zeigt sich eine erhebliche Spreizung der resultierenden Ausprägungen der Bewertungsgrößen innerhalb eines Pfades. So unterscheidet sich im Pfad LEP das maximale Kosteneinsparpotenzial der beiden Annahmenbündel um den Faktor 8, die erreichbaren maximalen Dezentralisierungsgrade liegen im selben Pfad innerhalb einer Spanne von 8 % bis 31 %.

Im Rahmen der Auswertung und Interpretation der Modellrechnungen werden hierbei getroffene Annahmen kritisch hinterfragt. Dies betrifft inhaltliche Festlegungen, wie die Festlegung des verwendeten Kostenbegriffs, die Festlegung der räumlichen Systemgrenze, die Eingrenzung auf den Betrachtungsgegenstand des technischen Systems der Abwasserentsorgung sowie die Festlegung des Bilanzierungszeitpunktes. Es kann deutlich gemacht werden, dass die genannten inhaltlichen Festlegungen sachlich gerechtfertigt sind und einen sinnvollen Rahmen zur Einordnung der Ergebnisse bilden. Einschränkungen hinsichtlich der Aussagefähigkeit der Ergebnisse in Bezug auf die Überprüfung der Ausgangsthese gehen hiervon nicht aus. Hinzuweisen ist aber auf die Bedeutung der Festlegung des Bilanzierungszeitpunktes. Eine ausgelagerte Modellabschätzung zeigt, dass deutlich höhere Kostenentlastungspotenziale erreicht werden, wenn anstehende Erneuerungen auf spätere Zeitpunkte verlagert werden können. Hinterfragt werden auch vereinfachende Festlegungen wie die Fokussierung auf Schmutzwasser (und damit Ausklammerung von Niederschlagswasser), die Vernachlässigung unterauslastungsbedingter Kanalbetriebskosten im verbleibenden Netz sowie die Ausklammerung von Effekten in der zentralen Behandlungsanlage. Ergänzende



qualitative und quantitative Einschätzungen zeigen, dass durch diese Vereinfachungen die Grundaussagen der Berechnungen nicht in Frage gestellt werden.

Die Ergebnisse können zu drei Blöcken zusammengefasst werden:

- Erstens die Quantifizierung der Kostenwirkungen der Dezentralisierung eines bestehenden funktionstüchtigen Systems der zentralen Abwasserentsorgung in einem von Bevölkerungsverlusten betroffenen Entsorgungsgebiet,
- zweitens das Verfahren zur Schätzung von Kostenfolgen der Dezentralisierung bestehender funktionstüchtiger Systeme der zentralen Abwasserentsorgung,
- drittens werden Hinweise gegeben, inwieweit Modellbetrachtungen, wie sie in dieser Arbeit angestellt werden, für den strategischen Planungsprozess von Nutzen sein können.

Im ersten Ergebnisblock werden Bedingungen formuliert, die das Zutreffen der Ausgangshypothese begünstigen. Entsorgungskosten in von Schrumpfung betroffenen, zentral erschlossenen Entsorgungsgebieten können demnach vor allem dann reduziert werden, wenn Teilgebiete bzw. Entsorgungseinheiten dezentralisiert werden, die

- einen überdurchschnittlich hohen Kanalaufwand aufweisen,
- innerhalb dieser Teilgebiete die Kanäle ein Alter erreicht haben, die Ersatzinvestitionen erforderlich machen und
- auf diese Kanäle im Falle einer Dezentralisierung weitestgehend verzichtet werden kann, die Vernetzung mit dem verbleibenden zentralen System also gering ist.

Das gleichzeitige Auftreten dieser Bedingungen ist im betrachteten Untersuchungsgebiet jedoch die Ausnahme. In Entsorgungseinheiten mit überdurchschnittlichem Kanalaufwand liegen meist Kanäle an, die mittelfristig das Ende der vorgesehenen Nutzungsdauer nicht erreichen. Alte Kanäle finden sich dagegen überwiegend in zentralen Lagen, in denen die zentrale Struktur der Dezentralen kostenmäßig überlegen ist. Deutlich wird aber, dass die Höhe erreichbarer Kosteneinsparpotenziale maßgeblich vom eingeschlagenen Dezentralisierungspfad beeinflusst wird. Dem Entwurf der Transformationspfade kommt deshalb eine zentrale Bedeutung zu.

Weiter hängt das erreichbare Einsparpotenzial von den kostenrelevanten finanzmathematischen, demografischen und technischen Einflussfaktoren ab. Die Stärke und Richtung der Wirkung dieser Einzelfaktoren kann differieren, abhängig von der vorherrschenden Kostenstruktur in den betroffenen Entsorgungseinheiten und von deren räumlichen Verortung im Entsorgungsgebiet. Dies trifft auch für den Einfluss der demografischen Dynamik auf das erreichbare Kosteneinsparpotenzial zu, der nur pfadbezogen benannt werden kann. Grundsätzlich steigt das erreichbare Kostenentlastungspotenzial mit zunehmendem Bevölkerungsrückgang an, da dadurch Skalenvorteile

zentraler Strukturen schwinden und Kostenvorteile dezentraler Systeme bei geringen Erschließungsdichten zunehmend zur Geltung kommen. Entscheidend für den erreichbaren Kosteneffekt ist jedoch, wie die Bevölkerungsdynamik kleinräumig zum Ausdruck kommt. Nur wenn sich der Bevölkerungsrückgang auf Einheiten konzentriert, die aus Kostengesichtspunkten für eine Dezentralisierung interessant sind, kann die Bevölkerungsdynamik ihre Wirkung auf die Kostenfolgen des Umbaus entfalten.

Auch der Bewertungszeitpunkt beeinflusst das Ergebnis maßgeblich mit. Wenn es gelingt, in Gebieten mit vergleichsweise geringer Anschlussdichte langfristig Ersatzinvestitionen durch entsprechende Gestaltung der Erhaltungsstrategie soweit möglich hinauszuzögern, entstehen zunehmend Konstellationen, die den oben beschriebenen günstigen Dezentralisierungsbedingungen entsprechen. Dies verweist auf die Notwendigkeit, entsprechende Netzerhaltungsstrategien in die Betrachtungen mit einzubeziehen.

Gemessen an den Kosten, die aus der Bereitstellung des vorhandenen zentralen Systems insgesamt resultieren, sind die erreichbaren Kostenentlastungen vergleichsweise gering. Sie bewegen sich je nach berechneter Variante bei Anteilen zwischen 0,3 % und 4,1 %. Diese Reduktionspotenziale liegen deutlich unter den rechnerisch ermittelten spezifischen Kostensteigerungen, die sich unter c.p. Bedingungen aufgrund sich abzeichnender Bevölkerungsverluste einstellen. Der spezifische schrumpfungsbedingte Kostenanstieg kann demnach mit den Maßnahmen der Dezentralisierung zwar abgeschwächt, jedoch nicht aufgefangen werden.

Vorliegende Strukturdaten der Abwasserwirtschaft deuten darauf hin, dass das gewählte Untersuchungsgebiet eine für die Entsorgungsgebiete Ostdeutschlands typische Gebietskonstellation aufweist. Es ist anzunehmen, dass die getroffenen Aussagen ähnlich in anderen ostdeutschen Entsorgungsgebieten zutreffen. Die typische Entsorgungsstruktur im Westen Deutschlands weicht dagegen hiervon ab. Dies betrifft insbesondere die Altersstruktur der Kanäle sowie die ablaufende Dynamik der Nachfrageveränderungen. Hier könnte mittelfristig der Optionsraum für Anpassungen aufgrund eines deutlich höheren anstehenden Ersatzbedarfs größer sein als im Osten. Eine Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass bereits heute Erhaltungsstrategien darauf ausgerichtet werden und auf umfangreiche Erneuerungsmaßnahmen soweit möglich verzichtet wird.

Der zweite Ergebnisblock bezieht sich auf das entwickelte Bewertungsverfahren. Dieses legt einen methodischen Ansatz vor, mit dem die Anpassung bestehender netzgebundener Abwasserinfrastrukturen unter besonderer Berücksichtigung dezentraler Systemalternativen vor dem Hintergrund von Auslastungsschwankungen aus Kostengesichtspunkten bewertet werden kann. Das Verfahren durchläuft mehrere aufeinander aufbauende Module in einer festgelegten Abfolge. Es orientiert in der vorliegenden Fassung auf frei verfügbare Daten sowie weitgehend unkritische Netzdaten von Ent-

sorgungsunternehmen. Es lässt damit auch eine Anwendung zu, wenn kein Zugriff auf Daten höherer Qualität gegeben ist. Liegen diese aber vor, kann das Verfahren bei Beibehaltung des methodischen Grundgerüsts deutlich vereinfacht werden. Damit steigt die Praxisrelevanz des Verfahrens. Abbildung 0-2 gibt einen Überblick über die im Verfahren verwendeten Inputdaten, die Modellierungsschritte in den einzelnen Modulen sowie die generierten Outputdaten.

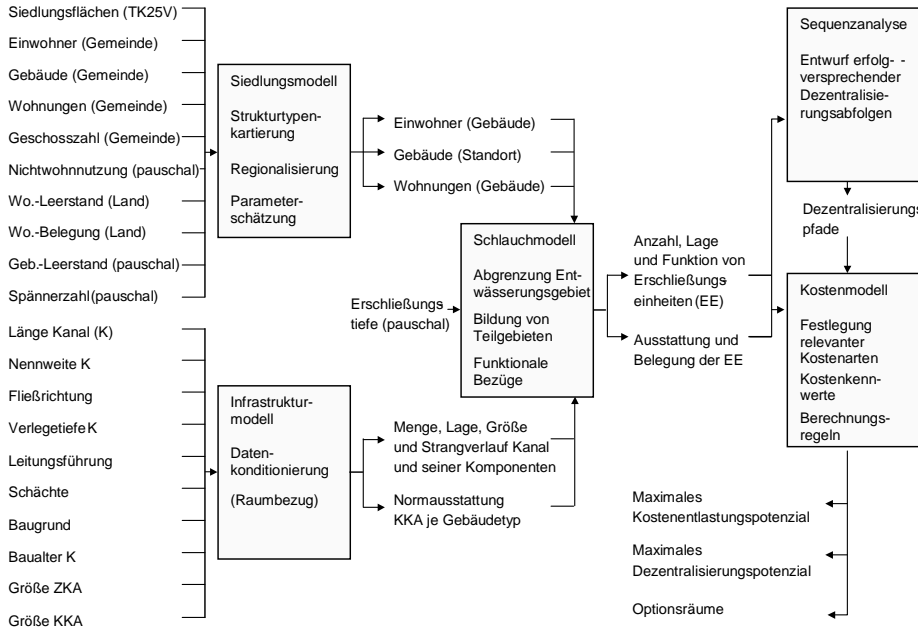


Abbildung 0-2: Module, Inputdaten und Outputdaten des Bewertungsverfahrens im Überblick

Mit dem Verfahren werden zwei Bewertungskriterien mit unterschiedlichem Aussagegehalt bereitgestellt. Das maximale Kostenentlastungspotenzial gibt eine Orientierung über Größenordnungen möglicher Kosteneinsparpotenziale. Damit liegt ein Vorschlag zur Quantifizierung von Kosteneffekten der Dezentralisierung bestehender zentraler Abwassersysteme vor. Der maximale positive Dezentralisierungsgrad hilft, Optionsräume für mögliche Anpassungen abzugrenzen und dort aus Kostengesichtspunkten die jeweilige Stoßrichtung weiterer Entwicklungen zu konkretisieren. Dabei ist Optionsraum durchaus auch im räumlichen Sinne zu verstehen. Durch die kartografische Darstellung von Dezentralisierungszuständen mit positiver Kostenbilanz können Gebiete mit prinzipiell unterschiedlichen Dezentralisierungspotenzialen und daraus erwachsenden Handlungserfordernissen abgesteckt werden. Diese lassen sich aufgrund der mit dem Verfahren hergestellten Verknüpfung von Sach- und Geodaten kartografisch darstellen und so für die strategische Planungsdiskussion aufbereiten. Abbildung 0-3

verdeutlicht dies am Beispiel der entworfenen Extrembilder „best-case“ und „worst-case“.

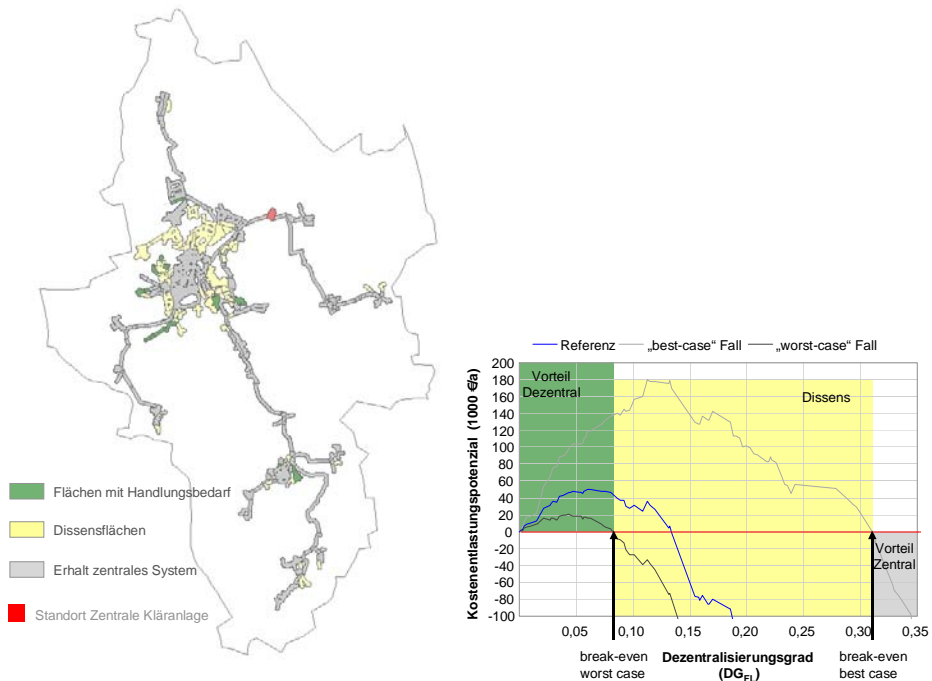


Abbildung 0-3: Aufzeigen von Optionsräumen durch Variation der Eingangsparameter, dargestellt am Beispiel des Pfades „LEP“ unter Beachtung der entwickelten Extrembilder

Mit der im Verfahren entwickelten Methodik sind die Voraussetzungen der Übertragung des Verfahrens auf andere, ähnlich strukturierte, netzgebundene Systeme gegeben. So besteht das Verfahren aus einem allgemeinen methodischen Teil, der Phänomene reflektiert, die allgemein bei netzgebundenen Infrastrukturen anzutreffen sind, sowie aus einem spezifischen methodischen Teil, der die technischen und funktionalen Besonderheiten der betrachteten Infrastruktur „Abwasserentsorgung“ berücksichtigt. Die Übertragung des Verfahrens auf andere netzgebundene Infrastrukturbereiche kann erfolgen, indem der allgemeine methodische Teil übernommen wird und im infrastrukturenspezifischen Teil entsprechende Anpassungen erfolgen.

Im dritten Ergebnisblock wird reflektiert, inwieweit Modellbetrachtungen, wie sie hier angestellt werden, für den strategischen Planungsprozess von Nutzen sein können. Ansatzpunkte finden sich innerhalb einzelner Planungsdisziplinen, vor allem aber hinsichtlich der Integration unterschiedlicher Planungsdisziplinen. Zum Teil sehr starre Pfadabhängigkeiten netzgebundener Infrastrukturen können sinnvollen Anpassungen entgegenstehen. Diese Remanenz kann nur in kleinen Schritten aufgebrochen werden und bedarf aufgrund langfristiger Wirkungen von Entscheidungen einer strategischen

Herangehensweise. Hierzu sind Orientierungswissen bereitzustellen und Folgewirkungen aufzuzeigen. So kann das Verfahren beispielsweise bei Fragen der Netzerweiterung eingesetzt werden, um aufzuzeigen, inwieweit sich geplante Erweiterungen auf den Anpassungsspielraum des Bestandsnetzes auswirken und um dadurch ggf. zu verhindern, dass sich abzeichnende sinnvolle Anpassungsoptionen im Bestand durch entsprechende Netzerweiterung vergeben werden.

Das Verfahren kann weiter Hilfestellung leisten, bislang überwiegend schwach ausgeprägte Verzahnungen zwischen Infrastruktur- und Siedlungsentwicklungsplanung zu stärken. Beide Bereiche sind aktiv im Modell integriert. Damit können Fragen siedlungsstruktureller Anpassungen mit infrastrukturellen Anpassungsoptionen gekoppelt und langfristige Folgewirkungsbeziehungen aufgezeigt werden. Auch Überlagerungen mit Planwerken und Entwicklungsoptionen anderer Fachplanung sind denkbar, auch ohne dass eine direkte Integration in das vorliegende Bewertungsverfahren erfolgen muss. Hier kommen die Möglichkeiten der kartografischen Ergebnisdarstellung aufgrund des bestehenden Raumbezugs des Bewertungsverfahrens zum Tragen. So können unter Nutzung von Geoinformationssystemen die Ergebnisse der Kostenberechnungen unmittelbar auf den Untersuchungsraum projiziert werden. Dies erlaubt eine Überlagerung der Ergebnisse mit Planwerken und Strategieüberlegungen anderer Planungsdisziplinen. So lassen sich mögliche Dissonanzen der strategischen Ausrichtung der in Betracht gezogenen Fachdisziplinen aufzeigen und Möglichkeiten der Abstimmung ausloten. Zum anderen lassen sich damit lokale Brennpunkte identifizieren, in denen sich Handlungsbedarfe unterschiedlicher Fachdisziplinen konzentrieren. Dies kann helfen, Synergien möglicher Anpassungsoptionen aufzuspüren und zu nutzen. Insgesamt trägt dies zur Verbesserung der Planungssicherheit bei.

Die Ausrichtung des Verfahrens auf die regionale (überörtliche) Betrachtungsebene birgt insofern Potenziale für die strategische Planung, als dadurch ermöglicht wird, überkommunale Abhängigkeiten und Zusammenhänge sichtbar zu machen und den Blick auf eine regionale Lösungsperspektive zu lenken. Effizienzeinbußen, die aus unkoordiniertem Einzelakteurshandeln entstehen können, kann damit entgegengewirkt werden.

# 1 Einführung

## 1.1 Hintergrund

### 1.1.1 Demografische Entwicklung in Deutschland

In Deutschland nehmen die Geburten seit Jahrzehnten kontinuierlich ab. Seit etwa 30 Jahren werden weniger Kinder geboren als zur zahlenmäßigen Bestandserhaltung der Bevölkerung erforderlich wären (Gans, Schmitz-Veltin 2006, IX; Müller 2004, 5). Die Folge sind grundsätzliche Veränderungen der demografischen Strukturen. Die Anteile Älterer nehmen zu, die der Jüngeren und derer im erwerbsfähigen Alter dagegen ab. Ohne Zuwanderungen wäre die Bevölkerung Deutschlands bereits seit Beginn der 1970er-Jahre zurückgegangen. Sie stieg aber aufgrund positiver Wanderungssalden noch bis zu Beginn des 21. Jahrhunderts an (Deutscher Bundestag 2002, 15)<sup>7</sup>. Seit 2003 sind die Bevölkerungszahlen nun rückläufig. Bis 2050 wird Deutschland nach der aktuell vorliegenden Bevölkerungsvorausberechnung 11 % bis 17 % seiner Einwohner verloren haben. Das Statistische Bundesamt geht bei insgesamt vergleichsweise optimistischen Annahmen hinsichtlich zukünftiger Wanderungsgewinne<sup>8</sup> davon aus, dass 2050 nur noch knapp 69 bis 74 Millionen Einwohner in Deutschland leben werden (Statistisches Bundesamt 2006a, 15).

Die Dynamik der Bevölkerungsveränderung verläuft regional sehr unterschiedlich. Bedingt durch die Abwanderung von 1,5 Mio. Menschen und dem Geburteneinbruch nach der politischen Wende haben vor allem die neuen Länder nach 1989 massiv an Bevölkerung verloren. Der Westen konnte dagegen aufgrund positiver Binnen- und Außenwanderungssalden im selben Zeitraum noch Bevölkerungsgewinne verbuchen (Deutscher Bundestag 2002, 16 f.). Einzelne Regionen waren aber auch dort bereits von Schrumpfungstendenzen erfasst. Müller und Siedentop (2004, 15 f.) fassen die regionale Ausprägung von Wachstum und Schrumpfung der 1990er Jahre wie folgt zusammen:

---

<sup>7</sup> Mit den Begriffen „Demografische Entwicklung“ oder synonym verwendet „Demografischer Wandel“ einer Gebietseinheit werden Veränderungen des Bevölkerungsvolumens sowie der Bevölkerungsstruktur beschrieben, die aus der natürlichen Bevölkerungsentwicklung innerhalb der Gebietseinheit sowie den Wanderungssalden über die Gebietsgrenzen hinweg resultieren (stellvertretend Deutscher Bundestag 2002, 16 f.; Statistisches Bundesamt 2006a; Schlömer 2006). Ersteres ergibt sich aus den Salden der Geburten und den Sterbefällen, letzteres aus den Zu- und Abwanderungen in und aus dem Gebiet. Dieses Begriffsverständnis liegt auch dieser Arbeit zugrunde.

<sup>8</sup> Die Varianten der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung unterscheiden sich hinsichtlich der zugrunde liegenden Annahmen der zu erwartenden Wanderungssalden. Die angenommene Bandbreite liegt zwischen Wanderungsgewinnen von 100.000 EW/Jahr in der pessimistischen Variante und 200.000 EW/Jahr in der optimistischen Variante. Derzeit liegt der Wanderungsüberschuss bei etwa 25.000 EW (Mäding 2007). Somit kann selbst die negativste Variante der Vorausberechnungen als vergleichsweise positiv eingestuft werden, gemessen an den aktuell zu beobachtenden realen Verhältnissen.

- Starke Polarisierung der Bevölkerungsentwicklung zwischen West- und Ostdeutschland, was in den alten Ländern zu einem flächenhaften Bevölkerungswachstum führte, in den neuen Ländern zu einem flächenhaften Bevölkerungsrückgang.
- Inter- und intraregionale Dekonzentrationsprozesse der Bevölkerung in Westdeutschland, wovon vor allem ländlich geprägte Räume in größerer Entfernung zu den Kernstädten sowie reifere suburbane Räume profitieren konnten.
- Interregionale Konzentrationsprozesse der Bevölkerung in Ostdeutschland, die vor allem zu Lasten ländlich peripherer Räume gingen.

Für die kommenden Jahre und Jahrzehnte gehen die Demografen von einer andauernden starken Polarisierung zwischen west- und ostdeutscher Entwicklung aus. Nachdem der Wanderungsstrom von den neuen in die alten Länder Mitte der 1990er Jahre kurzfristig nahezu vollständig zum Erliegen kam, stieg er bis zum Jahre 2001 wieder auf 100.000 Menschen an und pendelte sich 2004 auf etwa 50.000 Menschen im Jahr ein. Vorliegenden Vorausberechnungen zufolge werden die Wanderungsströme in den kommenden Jahren auf sinkendem Niveau anhalten (siehe auch Kröhnert et al. 2006, 44). Dabei werden sowohl in Westdeutschland als auch in Ostdeutschland weitere räumliche Differenzierungsprozesse erwartet (u. a. Müller, Siedentop 2004, 24 f.). Für das Gebiet der neuen Länder beschreibt Herfert (2002) die Entwicklung als Ausbildung „kleinerer und größerer Inseln mit stabilen und leicht wachsenden Bevölkerungspotenzialen im ansonsten demografisch schrumpfenden Raum“. Auch in Westdeutschland haben sich in den kommenden 20 Jahren immer mehr Regionen auf eine stagnierende und schrumpfende Entwicklung einzustellen. Dies zeichnet sich derzeit vor allem in ländlichen Regionen in Nord-Hessen, im Saarland sowie im gesamten Ruhrgebiet ab, aber auch vereinzelt in Landkreisen im gesamten Bundesgebiet (siehe auch Flöthmann 2006, 13 ff. sowie Abbildung 1-1).

Räumliche Disparitäten treten nicht nur großräumig zu Tage, sie sind auch innerhalb von Regionen und Kommunen in enger räumlicher Nachbarschaft anzutreffen. Bei stagnierenden und zurückgehenden Bevölkerungszahlen entwickeln sich regionale und lokale Wohnungs- und Immobilienmärkte mittelfristig zu Nachfragemärkten (Aring 2003). Dies begünstigt die Fluktuation aus weniger attraktiven Wohnungsbeständen, da Nachfrager auf dem Wohnungs- und Immobilienmarkt aus einem breiter gefächerten Angebot auswählen können und gleichzeitig von vergleichsweise niedrigen Mieten und Immobilienpreisen profitieren. In den betroffenen Kommunen und Quartieren ist infolgedessen mit einer verstärkten Ausbildung von Angebotsüberhängen und mit hohen Leerständen zu rechnen (Müller, Siedentop 2004, 25).

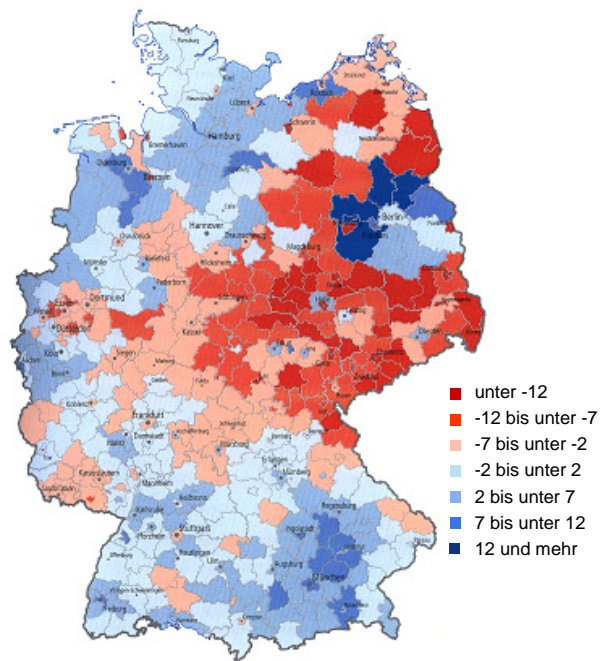


Abbildung 1-1: Bevölkerungsentwicklung 2003 bis 2020 in den Landkreisen und kreisfreien Städten (in Prozent) (Quelle: Flöthmann et al. 2006, 15)

In jüngster Zeit wird verstärkt auf Reurbanisierungstendenzen hingewiesen. Einiges deutet darauf hin, dass in den vergangenen Jahrzehnten zu beobachtende Suburbanisierungsprozesse eine deutliche Abschwächung erfahren, sich zum Teil sogar ins Gegenteil wenden. Empirische Befunde im Hinblick auf den Nachweis und die Ausformung der Reurbanisierung sind jedoch widersprüchlich. Auch besteht Unklarheit über die Ursachen solcher Entwicklungen (siehe hierzu Einzelbeiträge in BBR 2008 sowie Brachat-Schwarz 2008). Dies macht einmal mehr die Schwierigkeit deutlich, zukünftige intraregionale Wanderungsprozesse einzuschätzen, die bei abnehmenden überregionalen Wanderungen zunehmend an Bedeutung gewinnen.

### 1.1.2 Konsequenzen für die Abwasserentsorgung

Die Bevölkerungsveränderung hat weit reichende Auswirkungen auf das in Deutschland überwiegend zentral organisierte<sup>9</sup> System der Abwasserentsorgung (siehe hierzu auch Kapitel 4).

<sup>9</sup> In der Bundesrepublik sind inzwischen über 95 % aller Haushalte an die öffentliche Kanalisation angeschlossen (Leist 2007:116; siehe auch Abschnitt 2.4).



In Gebieten mit Bevölkerungswachstum steigen mit den zusätzlichen Einwohnern die Zahl der Abwasserproduzenten und damit auch die zu entsorgende Abwassermenge an. Infrastrukturplaner der Versorgungsbetriebe wissen um die Schwierigkeiten, die sich durch einen Anstieg der Nachfrage ergeben können. Sie reagieren in diesem Fall entweder mit einem Ausbau des bestehenden Netzes, oder sie greifen auf das Mittel des Nachfragemanagements zurück, um innerhalb der gegebenen Kapazitätsgrenzen zu bleiben und einen möglichen Ausbau des Netzes zu verhindern (Moss 2008, 133). Mit der Bevölkerungszunahme vergrößert sich auch die Einwohnerbasis für die Umlage der dabei entstehenden Kosten. Bei ausreichender Siedlungsdichte wirkt diese Entwicklung aufgrund wirksam werdender Skaleneffekte in der Regel kostenentlastend.

Kostensteigerungseffekte können langfristig auftreten, wenn das Bevölkerungswachstum mit einer Ausdünnung der Siedlungsstruktur einhergeht<sup>10</sup>. Hierbei kommt es zu einem Verlust von Dichtevorteilen, die zentral organisierten Systemen innewohnen. Mit zurückgehenden Nutzungsdichten steigen der spezifische Leitungsaufwand je angeschlossener Einheit und damit die Kosten für Bau und Unterhalt des Netzes an. Diesen Zusammenhang weisen Siedentop et al. (2006, 216 f.) anhand von Szenario-Modellrechnungen nach. Demnach ist davon auszugehen, dass mit einem Dichterückgang um einen Prozentpunkt ein Anstieg der Pro-Kopf-Kosten für Bau und Unterhalt des Netzes um mindestens einen Prozentpunkt verbunden ist.

Entstehen Überkapazitäten infolge rückläufiger Verbräuche und abnehmender Bevölkerungszahlen, stehen die Entsorger und entsorgungspflichtigen Körperschaften vor völlig neuen Herausforderungen. Die Zahl der an die Kanalisation angeschlossenen Einwohner sinkt. Zudem sinken die Abwassermenge und damit die Auslastung der Anlagen. Weniger Einwohner verbrauchen weniger Wasser und produzieren damit auch weniger Abwasser. Erfahrungen oder gar Patentrezepte, wie in solchen Situationen zu reagieren ist, liegen bislang wenig vor (Moss 2008, 134).

Bei Unterschreitung funktionaler Schwellenwerte müssen Maßnahmen ergriffen werden, um die Funktionstüchtigkeit der Anlagen zu gewähren. Ein viel zitiertes Beispiel ist die erforderliche Spülung der Leitungen, um Ablagerungen einzudämmen, die ansonsten zu Geruchsbildung und zu Korrosion führen. Dadurch entstehen zusätzliche Kosten. Gleichzeitig verringert sich bei Bevölkerungsverlusten die Anzahl derer, auf die die anfallenden Kosten umgelegt werden können. Kurz und mittelfristig kommt es dadurch zu Einnahmeausfällen bei den betroffenen Versorgungsunternehmen. Dies engt den ohnehin geringen finanziellen Spielraum der Kommunen bzw. den von ihnen beauftragten Unternehmen zusätzlich ein und vermindert dadurch auch den Spielraum

---

<sup>10</sup> In den zurückliegenden Jahrzehnten war dieser Trend insbesondere in den alten Ländern zu beobachten (z. B. Siedentop et al. 2004).

für wünschenswerte Anpassungen (hierzu u. a. Moss 2008, 134 f.; Haug, Deilmann 2008, 322 ff.; Mäding 2004, 94; Koziol 2008, 176).

Aus ökologischer Perspektive sind Auswirkungen der demografischen Entwicklung im Bereich der Abwasserentsorgung weit weniger klar zu benennen, wie es für funktionale Aspekte und Kostenaspekte der Fall ist. Allgemein wird zwar davon ausgegangen, dass bei abnehmendem Wasserverbrauch eher eine Umweltentlastung zu erwarten ist, vor allem damit begründet, dass jede Nutzung von Wasser auch mit einem Verbrauch an Energie und einer Verschmutzung einhergeht (UBA 2002). Leist (2007, 24 ff.) mahnt hierbei aber eine zu pauschale Herstellung von Ursache-Wirkungszusammenhängen zwischen Wasserverbrauch und Umweltwirkungen an. So entfallen z. B. über 95 % der Energieaufwendungen aus der Wassernutzung auf die Erwärmung von Warmwasser, nicht auf den Transport und die Aufbereitung des Trinkwassers selbst (Leist 2007, 115). Darüber hinaus finden negative Umweltwirkungen rückläufiger Wasserverbrauchsmengen und damit auch abnehmender Abwassermengen bei gleichzeitigem Vorliegen von auf Verbrauchswachstum und Massendurchsatz angelegten Infrastruktursystemen meist keine Beachtung. Dies sind z. B. Auswirkungen auf den Grundwasserschutz infolge der bereits erwähnten verstärkt eintretenden Korrosion in den Kanälen im Falle von Ablagerungen oder klimawirksame zusätzliche Energieaufwendungen infolge zusätzlicher Spülungen, um u. a. diese verstärkten Korrosionserscheinungen zu verhindern (siehe hierzu auch Koziol 2004, 75 f.). Insgesamt scheinen deshalb positive ökologische Wirkungen des aktuellen, durch Bevölkerungsabnahme gekennzeichneten, demografischen Wandels im bestehenden zentralen System der Abwasserentsorgung eher überschätzt zu werden.

Soziale Wirkaspekte des demografischen Wandels manifestieren sich vor allem im Begriff der Sozialverträglichkeit von Gebühren, die für Entsorgungsdienstleistungen zu entrichten sind. Deren Bemessung hat sich für Abwasser nach den Vorgaben des Kommunalabgabengesetzes am Prinzip der Kostendeckung zu orientieren. Aufgrund der Möglichkeit, von einem Anschluss- und Benutzungszwang Gebrauch zu machen, besteht nach gängiger Rechtsauffassung kaum Spielraum einer sozial gestaffelten Gebührengestaltung. Grundsätzlich sind die Kosten aus der Erbringung von Infrastrukturleistungen auf alle angeschlossenen Haushalte eines Gemeindegebietes unter Zugrundelegung eines einheitlichen Bemessungsmaßstabs umzulegen. Bei der Festlegung der Gebührenhöhe bestehen zwar gewisse Gestaltungsspielräume, jedoch nicht gestaffelt nach Gruppen mit unterschiedlicher sozialer Bedürftigkeit (siehe auch Im 2001, 169 ff.; Driehaus 2003, § 6 Rn. 748). So nehmen einige kommunale Abgabeordnungen der Länder ein „Kappung“ der Entgelte für die Abwasserbeseitigung vor und begrenzen dadurch den maximal zu zahlenden Betrag je Leistungseinheit. Wird diese Grenze überschritten, kann die Gebührenbemessung unterhalb der Kostendeckung

erfolgen<sup>11</sup>. Auch mit Hilfe finanzieller Förderungen von Investitionen der öffentlichen Abwasserversorgung wird versucht, unzumutbar hohe und sozial untragbare Belastungen zu vermeiden. Dabei besteht jedoch grundsätzlich die Gefahr der Verlagerung des Problems auf spätere Zeitpunkte, wenn z. B. Kosten aus erforderlichen Erneuerungsmaßnahmen fällig werden (siehe auch Leist 2007, 150). Ähnliches gilt, wenn Kosten über einen gewissen Zeitraum niedrig gehalten werden, indem technisch erforderliche Erneuerungsmaßnahmen auf einen späteren Zeitpunkt aufgeschoben werden.

Unabhängig davon, welche Maßnahmen ergriffen werden, um Gebühren auf einem sozialverträglichen Maß zu halten, im Falle eines Bevölkerungsrückganges wird dies aufgrund der Abnahme der Einwohner, die zur Verteilung der Kosten herangezogen werden können, zusätzlich erschwert. Soziale Auswirkungen des demografischen Wandels im Bereich der Abwasserentsorgung, festgemacht an einer Gefährdung der Sozialverträglichkeit zu entrichtender Entsorgungsentgelte, sind demnach vor allem unter Schrumpfbedingungen auszumachen. Überlagern sich demografische Schrumpfungsprozesse mit siedlungsstrukturellen Entdichtungstendenzen, verstärken sich diese Effekte.

### 1.1.3 Mögliche Handlungsansätze

Die sich abzeichnenden demografischen Trends und deren aufgezeigten Konsequenzen konfrontieren Kommunen sowohl als Aufgabenträger der Abwasserentsorgung als auch als Träger der kommunalen Bauleitplanung mit völlig neuen Situationen. Unterlagen die Planungsprozesse bislang überwiegend einem Denken in Wachstumskategorien, wird zunehmend eine Berücksichtigung der Konsequenzen stagnierender und rückläufiger Bevölkerungszahlen eingefordert (stellvertretend Müller, Siedentop 2004, 26 f.). Zwei grundsätzliche Ansätze können hierbei unterschieden werden (siehe hierzu auch Siedentop et al. 2006, 221):

Zum einen können Kommunen im Rahmen der kommunalen Bauleitplanung darauf hinwirken, eine Siedlungsstruktur zu schaffen, die eine infrastrukturelle Versorgung zu möglichst geringen öffentlichen und privaten Kosten gewährleistet. Mit einer stärkeren Bestandsorientierung und Berücksichtigung infrastruktureller Effizienzkriterien bei der Ausrichtung der Siedlungsentwicklung kann kostenaufwendigen Strukturen entgegen gewirkt werden.

Ein zweiter Handlungsansatz liegt in der Anpassung der Abwassersysteme an die veränderten Nachfragebedingungen. Bei gegebener Bevölkerungsverteilung ist eine

---

<sup>11</sup> Entsprechende Regelungen finden sich z. B. in den Kommunalabgabengesetzen der Länder Rheinland Pfalz, Baden-Württemberg und im Freistaat Sachsen, siehe hierzu Hinweise in Leist (2007, 150).

Standort- und Netzstruktur zu bewahren oder umzugestalten, die Versorgungsstandards einhält, gleichzeitig aber auch unter Kostengesichtspunkten tragfähig ist.

Aktuell vorliegende Studien weisen nach, dass mit dem erstgenannten Ansatz drohende Effizienzverluste netzgebundener Infrastrukturen in hohem Maße abgefangen werden könnten. Dabei wird auf die räumliche Verteilung der Einwohner und damit der Nachfrage nach Infrastrukturleistungen Einfluss genommen. Die entscheidende Stellgröße hierzu ist die Siedlungsdichte. Siedentop et al. (2006) zeigen im Rahmen von Modellrechnungen, dass sich der Anstieg der Pro-Kopf-Kosten in etwa proportional zum Rückgang der Siedlungsdichte verhält. Ein Dichterückgang von einem Prozent entspräche demnach einem prozentualen Pro-Kopf-Kostenzuwachs in ähnlicher Größenordnung. Andere Autoren rechnen sogar mit einer exponentiellen Kostensteigerung bei sinkender Siedlungsdichte (Herz 2004, 17).

Der Umsetzung siedlungsstruktureller Ordnungsmaßnahmen sind allerdings Grenzen gesetzt. So wird der Prozess der Siedlungsentwicklung von einer Vielzahl von Akteuren beeinflusst, die jeweils eigene, zum Teil sehr gegensätzliche Intentionen verfolgen (Schiller 2009, 44 ff.; Schiller et al. 2009, 199 ff.).

Bei der angebotsseitigen Anpassung der Infrastruktursysteme an eine veränderte Nachfrage erweisen sich vor allem substanzielle Kostenremanenzen langlebiger und kapitalintensiver zentraler Systeme als problematisch (siehe hierzu auch Abschnitt 4.3.2). Zentrale netzgebundene Systeme gelten aus diesem Grund als starr und wenig anpassungsfähig an eine zurückgehende Nachfrage (u. a. Kluge, Libbe 2006, 26, Rothenberger 2003a, 13, Herz et al. 2002). Anders verhält es sich bei dezentralen Entsorgungssystemen. Diese sind modular aufgebaut und weisen deutlich kürzere Nutzungsdauern auf (hierzu z. B. LAWA 2005). Erneuerungen stehen in deutlich kürzeren Abständen an und können kleinteilig erfolgen. So überrascht es nicht, dass dezentrale Teillösungen immer wieder als Option zu vorhandenen zentralen Strukturen genannt werden, wenn angebotsseitige Anpassungsstrategien vor dem Hintergrund rückläufiger demografischer Herausforderungen diskutiert werden (Kluge, Libbe 2006, 28; Koziol 2004, 83; Siedentop et al. 2006, 226, Rothenberger 2003a, 13). In Gebieten, die bereits zentral erschlossen sind, würde dies einen Umbau des zentralen Systems zu dezentral strukturierten Einheiten erfordern.

In der Realität ist die hier analytisch vorgenommene Trennung der beiden genannten Ansätze nicht anzutreffen. Vielmehr kommt es zu vielfältigen Überlagerungen. Für die Analyse von Wirkungszusammenhängen und Handlungsspielräumen hat sie sich aber durchaus als hilfreich erwiesen. Festzuhalten ist, dass inzwischen zahlreiche Erkenntnisse über die Wirkung siedlungsstruktureller Ordnungsmaßnahmen auf Kosten zentraler Infrastruktursysteme vorliegen. Deutlich geringer ist der Wissensstand über Möglichkeiten und Folgewirkungen der Infrastrukturanpassung als Antwort auf rückläufige Bevölkerungszahlen in bereits zentral erschlossenen Gebieten, beispielsweise durch

Transformation zentraler Systeme zu stärker dezentral angelegten Entsorgungsstrukturen.

## 1.2 Problemaufriss

Die Transformation der zentralen Abwasserentsorgung zu einer Struktur höherer Dezentralität kann dann eine ökonomisch tragfähige Alternative zu bestehenden zentralen Systemen darstellen, wenn dezentrale Systemalternativen mit adäquaten Reinigungsleistungen zur Verfügung stehen, die unter den veränderten Rahmenbedingungen ökonomisch günstiger zu betreiben sind als die bestehenden zentralen Systeme. Dies wird begünstigt, wenn aufgrund geringer Auslastungen des zentralen Systems Mengen- und Dichtevorteile zentraler Strukturen nicht mehr ausreichend zur Geltung kommen (Koziol 2006, 356 ff.).

Allein die Erfüllung dieser Voraussetzungen sagt jedoch noch nichts über die ökonomische Vorteilhaftigkeit einer Transformation gegenüber einer Beibehaltung des bestehenden Systems aus. Genau dies gilt es aber nachzuweisen, bevor ein Transformationsprozess ökonomisch motiviert eingeleitet werden soll. Dabei ist eine Reihe wichtiger Aspekte zu beachten, die einen Transformationsprozess auszeichnen bzw. dessen Vorteilhaftigkeit gegenüber einer Beibehaltung der bestehenden Struktur beeinflussen können (stellvertretend Rothenberger 2003a, 13; Eiswirth 2000, 45 ff.; Koziol, 2006, 355 ff.; Tietz 2006, 166).

- Die Transformation zentraler Entsorgungssysteme zu kleineren dezentralen Einheiten und der damit einhergehende Wechsel der Systemtechnik sind durch Brüche und Übergänge gekennzeichnet, verbunden mit einem hohen Grad an Unsicherheit.
- Die hohe Kapitalbindung im bestehenden System sowie bestehende Netzzusammenhänge führen zu komplexen Abhängigkeiten, die im Zuge eines Systemwechsels neu zu definieren wären.
- In der Phase der Transformation muss die Funktionalität des Systems gewahrt bleiben sowie betriebswirtschaftlichen Erfordernissen Rechnung getragen werden.
- Siedlungsgebiete, die zu Entsorgungsgebieten zusammengefasst sind, zeichnen sich oft durch eine heterogene Siedlungsstruktur sowie durch eine kleinräumig unterschiedliche Entwicklungsdynamik aus. Dies hat wesentlichen Einfluss auf den Erschließungsaufwand zentraler Systeme.
- Innerhalb größerer Entsorgungsgebiete weist das anliegende Netz abhängig von der Abfolge des zurückliegenden Ausbaus und erfolgter Erneuerungen eine heterogene Altersstruktur auf. Dies hat Einfluss auf den Umfang anstehender Ersatzerneuerungen, die im Sinne einer Transformation genutzt werden können.

Die beschriebenen Phänomene und Abhängigkeiten machen deutlich, dass eine Bewertung von Transformationsoptionen nicht ohne Berücksichtigung möglicher Auswirkungen auf das vorhandene System erfolgen kann. Hieraus erwächst eine Komplexität,

die Alternativvergleiche, wie sie beim Aus- und Neubau von Abwasserentsorgungssystemen angestellt werden, deutlich übersteigen (siehe hierzu u. a. LAWA 2005). Bislang stehen hierfür keine geeigneten Ansätze und Verfahren zur Verfügung. Es verwundert also nicht, dass ein Systemwechsel selbst unter vergleichsweise günstigen Voraussetzungen (hohe Nachfragerückgänge, geringe Siedlungsdichten) in der Praxis bislang kaum erwogen wird. Die Auseinandersetzung hiermit bleibt auf einem vergleichsweise theoretischem Niveau und ist eher grundsätzlicher Natur (stellvertretend Koziol 2006, 2008; Rothenberger 2003b). Es bestehen kaum Vorstellungen darüber, mit welcher Größenordnung von Kostenentlastungspotenzialen hier zu rechnen ist. Nennenswerte Quantifizierungsversuche, die Aussagen auf der Ebene gesamter Entsorgungsgebiete treffen, liegen bislang nicht vor. Zwar berechnen z. B. Hiessl et al. (2003) Kostenwirkungen von Dezentralisierungsvarianten im zentral erschlossenen Siedlungsbestand, Betrachtungsebene ist dabei jedoch die Quartiersebene. Auch unterbleibt dabei die Thematisierung zunehmender Auslastungsrückgänge im vorhandenen zentralen System. Nicht unerwähnt bleiben soll auch eine 2008 an der Universität Stuttgart fertig gestellte Diplomarbeit zur Bewertung von zentralen und dezentralen Entwässerungslösungen im ländlichen Raum im Hinblick auf den demografischen Wandel (Hawlik 2008). Schwerpunkt dieser Arbeit ist allerdings der Fall der Neuerschließung. Der Aspekt „Umbau im Bestand“ wird nur am Rande anhand sehr einfach gehaltener theoretischer Modellüberlegungen diskutiert, die wenig Aufschluss über die Höhe möglicher Kostenwirkungen der Dezentralisierung im zentral erschlossenen Siedlungsbestand geben.

Die Berechnung von Kostenwirkungen des Umbaus bestehender zentraler Entwässerungssysteme zu stärker dezentral angelegten Strukturen muss neben der Bewertung der Neuanlagen Auswirkungen auf das vorhandene System berücksichtigen, unter Beachtung dort vorherrschender funktionaler Netzzusammenhänge und hieraus entstehende Kosteneffekte. Vorliegende, in der Praxis etablierte Verfahren zur Kostenbewertung von Entwässerungslösungen sind auf den Neu- bzw. Ausbaufall ausgerichtet und greifen hier zu kurz. Aufhorchen lässt in diesem Zusammenhang ein von Herbst (2008) vorgelegtes Verfahren zur Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme. Dieses verspricht eine umfassende Bewertung von Infrastruktursystemen, auch unter Berücksichtigung vorhandener Anlagenstrukturen und deren Umbau. Dabei finden Aspekte Beachtung, die für diesen Bewertungsfall eine wesentliche Rolle spielen, wie beispielsweise siedlungsstrukturelle Rahmenbedingungen, demografische Veränderungen sowie Kostenaspekte im Kontext von Systemumstellung und Systemauslastung. Das Verfahren bleibt dabei aber sehr allgemein. Adressiert werden größere Raumeinheiten wie z. B. Regionen. Es werden sehr allgemein gehaltene Planungsparameter herangezogen. Vorschläge, wie eine Berücksichtigung kleinräumig sehr unterschiedlicher Ausprägungen der oben genannten Parameter erfolgen kann, werden nicht gemacht. Auch fehlen Hinweise, wie mögliche Transformationszustände

aussehen könnten, die es zu bewerten gilt. So überrascht es nicht, dass das dokumentierte Anwendungsbeispiel darauf verzichtet, den Umbaufall zu thematisieren. Anstatt dessen wird ein fiktives Beispiel der Neuerschließung dargestellt. Der Nachweis, ob das Verfahren für Fragen des Systemwechsels zu aussagefähigen Ergebnissen führt, bleibt die Arbeit schuldig und darf mit Blick auf die Konstruktion des Verfahrens angezweifelt werden.

### 1.3 Ziel, Forschungsfragen und Hypothese

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Verfahren zu entwickeln, das eine Kostenbewertung der Transformation technischer Systeme der zentralen Abwasserentsorgung hin zu stärker dezentral angelegten Strukturen ermöglicht. Durch Anwendung des Verfahrens sollen Kosteneffekte der Dezentralisierung eines zentral erschlossenen Entsorgungsgebietes berechnet werden. Damit soll ein Versuch unternommen werden, bislang überwiegend qualitativ vorliegende Aussagen über Dezentralisierung als mögliche Anpassungsoption bei Bevölkerungsrückgang zu quantifizieren. Folgende Fragen stehen damit im Vordergrund:

- Wie kann eine Kostenbewertung der Dezentralisierung zentral erschlossener Gebiete vorgenommen werden? (Bewertungsverfahren)
- Welche Kostenentlastungspotenziale lassen sich aufzeigen? (Quantifizierung)

Der Arbeit liegt die Hypothese zugrunde, dass im Falle rückläufiger Bevölkerungszahlen bei vorhandener zentraler Abwasserentsorgung die Entsorgungskosten reduziert werden können, wenn es gelingt, in Teilgebieten mit überdurchschnittlich hohem zentralen Erschließungsaufwand, gemessen am Erschließungsaufwand des gesamten Entsorgungsgebietes, zu dezentralisieren.

Hinsichtlich der „Entwurfsreife“ ist die Arbeit auf der Planungsstufe einer Vorstudie zur Erstellung eines Generalentwässerungsplans<sup>12</sup> anzusiedeln. Das zu entwickelnde Bewertungsverfahren erhebt den Anspruch, unter Nutzung möglichst einfach zu erhebender Daten, Aussagen hinsichtlich grundsätzlicher Systemausrichtung auf örtlicher bzw. überörtlicher Ebene zu ermöglichen.

### 1.4 Forschungskonzept

#### 1.4.1 Einordnung und Abgrenzung

Betrachtet werden alle relevanten Kostenwirkungen im technischen System der Abwasserentsorgung, die infolge der Dezentralisierung auftreten können. Damit wird vereinfacht angenommen, dass das gesamte technische System der Abwasserentsor-

---

<sup>12</sup> Im Generalentwässerungsplan werden Abwasserkonzepte für überörtliche Gebiete, Städte, o. ä. erstellt. Er gibt einen Rahmen für nachfolgende Detailplanungen vor (Hosang, Bischof 1998, 112).

gung, bestehend aus zentralen und dezentralen Anlagenkomponenten in der Verantwortung einer Institution liegt, bei der sämtliche Kosten der Bereitstellung, des Betriebs und des Erhalts des Systems anfallen<sup>13</sup>.

Die räumliche Gebietsabgrenzung orientiert sich an der Abgrenzung von Entsorgungsgebieten, die auch in der Abwasserwirtschaftspraxis die räumlichen Kostenbilanzräume von Tarifgebieten darstellen. Diese erstrecken sich entweder über das Gebiet einer Gemeinde oder über mehrere benachbarte Gemeindegebiete, wenn diese zu Entsorgungsgemeinschaften zusammengeschlossen sind. Die räumliche Betrachtungsebene ist damit die übergemeindliche bzw. regionale Ebene.

Die Untersuchungen konzentrieren sich auf das technische System der Abwasserentsorgung, das die Physis der bereitgestellten und betriebenen Anlagen umfasst. Weiter erfolgt eine Fokussierung auf den Schmutzwasserbereich, da davon ausgegangen wird, dass in ländlich strukturierten Gebieten Niederschlagswasser oft bereits dezentral ab- und eingeleitet wird, und der Bereich der Niederschlagsentwässerung damit aus der Betrachtung zunächst herausgenommen werden kann. Vom technischen System der Abwasserentsorgung ist das organisatorische System abzugrenzen, das Aufgaben des Managements und der Verwaltung des Systems umfasst (s. Abschnitt 3.2). Das organisatorische System der Abwasserentsorgung ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Sofern nicht anders gekennzeichnet, wird nachfolgend unter dem Begriff „System der Abwasserentsorgung“ das physische bzw. technische System verstanden.

Dezentralisierung kann auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen erfolgen, so z. B. auf der Ebene von Einzelgebäuden, zusammengeschlossenen Nachbarschaften oder ganzer Ortsteile. Um ein Höchstmaß an Flexibilität in der Modellierung zu erhalten, werden im Rahmen dieser Arbeit Hauskläranlagen für Einzelgebäude als alternatives System zur zentralen Anlage betrachtet (zur begrifflichen Abgrenzung zentraler, semizentraler und dezentraler Abwassersysteme s. Abschnitt 3.2.2).

In der Arbeit werden grundsätzliche raumstrukturelle Gestaltungsmöglichkeiten des Systems der Abwasserentsorgung diskutiert. Technische Lösungsvarianten der differenzierten Stoffstromführung der im Abwasser enthaltenen Komponenten (z. B. Grauwasser, Schwarzwasser etc.), werden nicht thematisiert (s. hierzu Abschnitt 3.2.4). Hinsichtlich der Stoffstromführung in den betrachteten Kleinkläranlagen wird generalisierend unterstellt, dass das gesamte in den Gebäuden anfallende Schmutzwasser in die betrachteten Hauskläranlagen eingeleitet wird, dort entsprechende Reinigungsstu-

---

<sup>13</sup> So können nach Schulze 1994, 37 (zitiert in Rendigs, Tranow 2006, 68) dezentrale Abwasserbehandlungsanlagen nicht notwendigerweise nur durch private Einzelbetreiber oder Gruppen betrieben werden. Vorstellbar sind auch größere organisatorische Verbünde aus zentralen und dezentralen Konzeptionen.



fen durchläuft, bevor es in den natürlichen Wasserkreislauf eingeleitet wird bzw. im Falle von Klärschlamm durch entsprechende Abfuhr entsorgt wird.

### 1.4.2 Konzeption des Bewertungsverfahrens

Das zu entwickelnde Verfahren soll eine Kostenbewertung eines Teilumbaus vorhandener zentraler, von Auslastungsrückgängen betroffener, Abwassersysteme ermöglichen. Ob ein Systemwechsel in einem Teilgebiet des Entsorgungsgebietes zu erwägen ist, ist abhängig vom dort vorherrschenden Erschließungsaufwand. Ist dieser in einem Teilgebiet hoch, gemessen am Erschließungsaufwand des gesamten Entsorgungsgebietes, wird nach der in Abschnitt 1.3 formulierten Forschungshypothese ein Kostenentlastungseffekt für das Gesamtsystem erhofft, wenn in diesem Teilgebiet dezentralisiert wird.

Zunächst ist also die Ausgangssituation des vorhandenen zentralen Abwassersystems im betrachteten Entsorgungsgebiet zu beschreiben. Dieses ist in Teilgebiete zu untergliedern, innerhalb derer Aussagen zum Erschließungsaufwand zu treffen sind, um die Abbildung von Teilumbauvarianten unter Beachtung des genannten Kriteriums zu ermöglichen. Der Erschließungsaufwand kann als Anlagenaufwand bezogen auf die anzuschließenden Einheiten beschrieben werden. Die anzuschließenden Einheiten ergeben sich aus der Einwohnerzahl sowie deren Verteilung auf den Siedlungs- bzw. Gebäudebestand. Bei der Beschreibung der Ausgangssituation sind demnach der vorhandene Anlagenbestand sowie die anliegende Siedlungsstruktur und deren Belegung innerhalb zu bildender Teilräume zu berücksichtigen und in Bezug zueinander zu setzen.

Ausgehend hiervon sind denkbare Bilder des Teilumbaus bzw. der Dezentralisierung zu beschreiben. Unter Beachtung der Forschungsfrage, die auf das Aufdecken von Kosteneinsparpotenzialen durch Dezentralisierung abhebt, sind dabei solche Bilder zu entwerfen, von denen hohe Beiträge zu potenziellen Kosteneinsparungen erhofft werden. In dem zu leistenden Entwurfsprozess ist demnach im Vorgriff auf die eigentliche Kostenbewertung eine Einschätzung zu erwartender Kostenwirkungen zu integrieren. Dies kann nicht ohne die Berücksichtigung funktionaler Abhängigkeiten innerhalb des umzubauenden zentralen Systems erfolgen. Diese sind deshalb mit zu berücksichtigen.

Die Kostenbewertung bezieht sich auf die durch die Transformation hervorgerufene Veränderung des ursprünglich zentral angelegten Entsorgungssystems. Von Interesse sind damit Kosteneffekte, die sich infolge des Systemumbaus bzw. des Teilumbaus einstellen.

Hieraus lassen sich drei Kernaufgaben formulieren, die mit dem Bewertungsverfahren zu bewältigen sind:

- **Abbildungsaufgabe:** Teilräumliche Abbildung der vorhandenen Entsorgungs- und Siedlungsstruktur unter Berücksichtigung funktionaler Netzzusammenhänge und des in den Teilräumen anliegenden Erschließungsaufwandes.
- **Entwurfsaufgabe:** Entwurf von, im Sinne des Erreichens hoher Kostenreduktionspotenziale, „erfolgversprechenden“ Dezentralisierungsabfolgen.
- **Bewertungsaufgabe:** Ermittlung und Bewertung der Kosteneffekte, die infolge der Dezentralisierung entstehen.

Zur Bearbeitung dieser Aufgaben werden einzelne Teilmodule gebildet.

Die Abbildungsaufgabe wird in den Abbildungsmodulen Siedlungsmodell, Infrastrukturmodell und Bezugsmodell bearbeitet. Im Siedlungsmodell erfolgt die Beschreibung der Verteilung der Nachfrageparameter „Einwohner“ und „Gebäude“ im Entsorgungsgebiet. Dies erfolgt unter Anwendung des Stadtstrukturtypenansatzes, der auf der Interpretation kartografischer Flächendaten hinsichtlich dort vorherrschender Flächennutzungsausprägungen beruht. Im Infrastrukturmodell erfolgt die Beschreibung der Physis der anliegenden Anlagen des zentralen Entsorgungsnetzes. Darüber hinaus werden Grunddaten dezentraler Komponenten beschrieben, welche die Grundlage für die Modellierung des dezentralen Erschließungsaufwandes bilden. Die Verknüpfung von Siedlungsmodell und Infrastrukturmodell erfolgt im Bezugsmodell auf der Ebene von Teilgebieten im Rahmen einer GIS-Analyse.

Die Entwurfsaufgabe wird im Modul „Sequenzanalyse“ bearbeitet. Hier werden Dezentralisierungsabfolgen bezogen auf die in den Abbildungsmodulen abgegrenzten Teilgebiete beschrieben. Die zu leistende Einschätzung zu erwartender Kostenwirkungen der erzeugten Dezentralisierungsbilder erfolgt durch die Einbindung von Kostenentlastungshypothesen in den Entwurfsprozess.

Im Kostenmodell werden die Grundlagen für die Kostenbewertung geschaffen. Kostenkenngrößen werden formuliert, Berechnungsregeln festgelegt sowie Bewertungsgrößen entwickelt.

### **1.4.3 Einbindung des Bewertungsverfahrens in das Gesamtvorhaben**

Die Entwicklung des Bewertungsverfahrens und Durchführung der Kostenbetrachtungen erfolgt am Beispiel eines realen Entsorgungsgebietes. Dies hat gegenüber einer Betrachtung abstrakt konstruierter Entsorgungsstrukturen den Vorteil, dass sowohl bei der Verfahrensentwicklung als auch bei der Kostenfolgenrechnung reale Verhältnisse besser adaptiert werden können, birgt aber auch die Gefahr eingeschränkter Übertragbarkeit der Erkenntnisse auf andere Gebietszusammenhänge. Letzterem kann durch Spiegelung der Eckdaten des gewählten Beispielgebietes an abwasserwirtschaftlichen und siedlungsstrukturellen Kenndaten auf höherer Aggregationsebene begegnet werden.

Für die Eignung eines Entsorgungsgebietes als Entwicklungs- und Untersuchungshintergrund sollte dieses überwiegend an die öffentliche Kanalisation angeschlossen sein. Es sollte sich um ein Gebiet mit strukturellem, über einen längeren Zeitraum anhaltenden, Bevölkerungsrückgang handeln. Die Bereitschaft des Versorgers, bei der Datenbereitstellung Unterstützung zu leisten, sollte gewährleistet sein. Alle aufgeführten Punkte treffen für das ausgewählte, in Kapitel 5 beschriebene, Fallbeispiel zu.

Tabelle 1-1 fasst das Gesamtforschungskonzept des Vorhabens in einer Übersicht zusammen. Ausgangspunkt sind die aufgestellte Forschungshypothese sowie die hieraus resultierenden Forschungsfragen. Diesen soll im Rahmen von Modellbetrachtungen am Beispiel eines realen Entsorgungsgebietes nachgegangen werden (Forschungsansatz). Ein bedeutender Anteil der Arbeit widmet sich der Entwicklung des Be-

Tabelle 1-1: Forschungskonzept

|   |                   |   |  |
|---|-------------------|---|--|
| Forschungshypothese                     |                   | Bei Schrumpfung und zentraler Abwasserentsorgung können Entsorgungskosten reduziert werden, wenn in Teilgebieten mit relativ <sup>14</sup> hohem zentralen Erschließungsaufwand dezentralisiert wird. |  |
| Forschungsansatz                        |                   | Modellbetrachtungen am Beispiel eines realen Entsorgungsgebietes  |  |
| Verfahrensentwicklung                   | Abbildungsaufgabe | Siedlungsmodell   | Beschreibung der Verteilung der Nachfrageparameter „Einwohner“ und „Gebäude“ im Entsorgungsgebiet                  |
|   |                   | Infrastrukturmodell   | Beschreibung der Physis der zentralen Anlagen und der Grunddaten dezentraler Komponenten                           |
|   |                   | Bezugsmodell  | Verknüpfung von Siedlungsmodell und Infrastrukturmodell auf teilgebietlicher Ebene                                 |
|   | Entwurfsaufgabe   | Sequenzanalyse  | Beschreibung von Dezentralisierungsabfolgen unter Beachtung von Kostenentlastungshypothesen                        |
|   | Bewertungsaufgabe | Kostenmodell  | Formulierung von Kostenkenngrößen, Festlegung von Berechnungsregeln, Entwicklung von Bewertungsgrößen              |
| Verfahrens-anwendung (Modellrechnungen) |                   | Zukunftsprojektion  | Beschreibung der Dynamik siedlungsstruktureller Veränderungen im Modellgebiet innerhalb des Betrachtungszeitraumes |
|   |                   | Kostenberechnung  | Berechnung von Kostenfolgen entwerfener Dezentralisierungsabfolgen für das Modellgebiet                            |
|   |                   | Empfindlichkeitsprüfungen   | Überprüfung der Wirkung der Variation unsicherer Einzelparameter auf die Ergebnismerte                             |
| Interpretation und Ergebnisse           |                   | Überprüfung der Hypothesen, Reflexion des Bewertungsverfahrens, Nutzen für den strategischen Planungsprozess  |  |

<sup>14</sup> Bezogen auf den Erschließungsaufwand in den Teilgebieten des Betrachtungsgebietes.

wertungsverfahrens und damit der ersten Forschungsfrage, die danach fragt, wie eine Kostenbewertung des Umbaus zentral erschlossener Gebiete zu stärker dezentral angelegten Strukturen erfolgen kann.

Die Struktur des Bewertungsverfahrens orientiert sich an den oben herausgearbeiteten Kernaufgaben, die es zu bewältigen gilt. Diesen sind die ebenfalls oben eingeführten aufeinander aufbauenden Teilmodule zugeordnet, innerhalb derer die Teilaufgaben bearbeitet werden. In der Modellrechnung erfolgt die Anwendung des entwickelten Ansatzes auf das gewählte Beispielgebiet. Hierzu erfolgt eine Zukunftsprojektion, die ausgehend von der Festlegung des Betrachtungszeitraumes eine Beschreibung der zu erwartenden Dynamik siedlungsstruktureller Veränderungen umfasst, um auf dieser Grundlage in der Kostenrechnung Kostenfolgen möglicher Dezentralisierungspfade zu berechnen. Zunächst erfolgt dies unter Referenzannahmen bzgl. relevanter Kosteneinflussparameter. Diese Annahmen sind unsicherheitsbelastet – datentechnisch bedingt und aufgrund des verfolgten prognostischen Ansatzes. Um dem zu begegnen, werden Sensitivitätsbetrachtungen durchgeführt. Dabei werden Wirkungen der Variation einzelner Parameterausprägungen auf die berechneten Kostenfolgen ermittelt. Abschließend werden die Ergebnisse zusammengestellt und interpretiert. Es erfolgt eine Überprüfung der Ausgangshypothese sowie eine kritische Reflexion der Eignung und Anwendbarkeit des Bewertungsverfahrens. Darüber hinaus werden Überlegungen angestellt, inwieweit Modellbetrachtungen, wie sie hier durchgeführt werden, in der strategischen Siedlungs- und Infrastrukturplanung Unterstützung leisten können.

## 1.5 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in vier Hauptgliederungspunkte:

- A Grundlagen
- B Entwicklung des Bewertungsverfahrens
- C Modellrechnungen
- D Interpretation und Ergebnisse

Diesen ist eine Einführung vorangestellt (Kapitel 1). Hier wird auf das Thema hingeleitet, indem zunächst der Problemhintergrund beleuchtet wird: Die aktuelle und zu erwartende Dynamik der demografischen Entwicklung, die Konsequenzen im Bereich der zentralen Abwasserentsorgung sowie die Darstellung grundsätzlicher Handlungsansätze, entlang derer Anpassungen erfolgen können. Die Forschungslücke wird benannt, eine Forschungshypothese formuliert und das Ziel der Arbeit festgeschrieben. Abschließend wird das Forschungskonzept vorgestellt.

In Teil A werden Grundlagen behandelt, auf die im Verlauf der Arbeit Bezug genommen wird. Zunächst erfolgt in Kapitel 2 eine Klärung grundlegender Begrifflichkeiten aus dem Bereich der Abwasserentsorgung: Welche Abwasserarten werden unterschied-

den, welches sind die Aufgabenbereiche der Abwasserentsorgung und wer ist Aufgabenträger? Weiter werden relevante abwasserwirtschaftliche Strukturdaten hinsichtlich auftretender Abwasserströme, des Anschlussgrades, der Ausprägungen spezifischer Kanallängen sowie der Altersstruktur im deutschen Kanalnetz beschrieben.

Kapitel 3 widmet sich dem Spannungsfeld zentraler versus dezentraler Abwasserentsorgung. In einem Rückblick wird die Bedeutung dezentraler Abwassersysteme in der wissenschaftlichen Diskussion und Praxis nachgezeichnet, ausgehend vom Status dezentraler Systeme als in Kauf genommene Zwischenlösung bis hin zur ernst zu nehmenden Alternative auch in bereits zentral erschlossenen Gebieten. Weiter erfolgen in diesem Kapitel erforderliche Klärungen zum Begriffsverständnis zentraler und dezentraler Abwassersysteme.

In Kapitel 4 werden kostenrelevante Wirkungen des Nachfragerückgangs im System der zentralen Abwasserentsorgung beleuchtet. Diskutiert werden Mengen-, Dichte- und Flächenaspekte des Nachfragerückgangs, hieraus resultierende funktionale Beeinträchtigungen im zentralen Abwassersystem sowie nachfragerückgangs-induzierte Kosteneffekte mit Einfluss auf den finanziellen Anpassungsspielraum.

In Teil B erfolgt die Entwicklung des Verfahrens der Kostenbewertung. Zunächst wird hierzu in Kapitel 5 das Untersuchungsgebiet vorgestellt und damit der räumliche Entwicklungshintergrund mit Hilfe siedlungsstruktureller und demografischer Kenndaten beschrieben. In den Kapiteln 6 bis 10 erfolgt die Entwicklung der Module, die zusammen das Bewertungsverfahren bilden.

Zur Entwicklung des Siedlungsmodells wird in Kapitel 6.1 zunächst in die Methodik des Stadtstrukturtypenansatzes eingeführt. Dabei werden Arbeiten näher beleuchtet, die aufgrund ihrer methodischen Ausrichtung von besonderem Interesse für das hier zu entwickelnde Modell sind. Hier erfolgen auch grundsätzliche Festlegungen des methodischen Vorgehens zur Entwicklung dieses Moduls. Dieses wird in den nachfolgenden Abschnitten konkretisiert. Kapitel 6.2 widmet sich der Strukturtypenkartierung unter Anwendung eines vorliegenden automatisierten Siedlungsmustererkennungsverfahrens. Hier werden auch die erforderlichen Adaptionen dargelegt, die zur Herstellung der Passfähigkeit des verwendeten Werkzeugs in der spezifischen siedlungsstrukturellen Konstellation des Untersuchungsgebietes erforderlich sind. Aufbauend hierauf erfolgt in Kapitel 6.3 die Entwicklung eines Verfahrens zur regionsspezifischen Schätzung kleinräumiger Nachfrageparameter.

Im Infrastrukturmodell, das in Kapitel 7 behandelt wird, erfolgt die Beschreibung der Erhebung relevanter Infrastrukturdaten und deren GIS-taugliche Aufbereitung.

Kapitel 8 widmet sich der Aufgabe, einen Bezug zwischen Siedlungsmodell und Infrastrukturmodell auf der Ebene von Teilgebieten herzustellen. Hierzu erfolgen in Kapitel 8.1 zunächst grundsätzliche konzeptionelle Überlegungen, bevor nachfolgend die

favorisierte Variante ausgearbeitet wird. So werden in den Kapiteln 8.2 bis 8.4 GIS-gestützte Verfahrensschritte zur Abgrenzung des Entwässerungsgebietes, zu dessen Aufteilung in Entsorgungseinheiten und zu deren Typisierung entlang funktionaler Kriterien beschrieben.

In Kapitel 9 werden im Rahmen der Sequenzanalyse Dezentralisierungsabfolgen der vorliegenden Entsorgungseinheiten gebildet und so alternative Dezentralisierungspfade entworfen. Hierzu werden zunächst Kostenentlastungshypothesen formuliert (Kapitel 9.1). In Kapitel 9.2 werden hieraus Kriterien zur Pfadausrichtung und deren Ausprägung im Untersuchungsgebiet beschrieben. Diese werden eingesetzt, um in Kapitel 9.3 die Transformationssequenzen der Pfade zu generieren.

Das Kostenmodell schafft die Voraussetzungen, die in den vorangegangenen Modulen entworfenen Mengengerüste in Kostengrößen zu übersetzen und einer Bewertung zugänglich zu machen. Die Grundlagen hierfür werden in Kapitel 10 gelegt. Basierend auf vorangestellte allgemeine Überlegungen (Kapitel 10.1) erfolgt in Kapitel 10.2 die Festlegung des verwendeten Kostenbegriffs und dessen Abgrenzung zu anderen relevanten Kostengrößen, die in der Abwasserwirtschaft eine Rolle spielen. In Kapitel 10.3 werden Kostenarten beschrieben und deren Berechnungsmodi festgesetzt. Basierend hierauf erfolgt in Kapitel 10.4 die Auswahl und nähere Beschreibung der relevanten Kostenarten mit konkretem Bezug zur gestellten Bewertungsaufgabe. Für diese werden in Kapitel 10.5 Kostenkennwerte formuliert. In Kapitel 10.6 werden abschließend Kennzahlen herausgearbeitet und beschrieben, entlang derer eine Kostenbewertung erfolgen kann.

In Teil C werden in Modellrechnungen die in den vorangegangenen Kapiteln erarbeiteten Dezentralisierungspfade einer Kostenbewertung unterzogen. Hierzu erfolgt in Kapitel 11 zunächst eine Zukunftsprojektion des Siedlungsmodells. Es werden Festlegungen zum Betrachtungshorizont getroffen (Kapitel 11.1), zu berücksichtigende Bevölkerungsveränderungen beschrieben (Kapitel 11.2) sowie erforderliche Annahmen zur zukünftigen Siedlungstätigkeit im Untersuchungsgebiet getroffen (Kapitel 11.3).

Die Ergebnisse der durchgeführten Kostenrechnung werden in Kapitel 12 dargelegt. Kapitel 12.1 führt die Kostenfolgen auf, die unter Referenzbedingungen für die alternativen Dezentralisierungspfade berechnet werden können. In Kapitel 12.2 erfolgen Sensitivitätsbetrachtungen für unsichere Eingangsparameter. Aus diesen Erkenntnissen werden in Kapitel 12.3 Merkmalsbündel mit gleichgerichteten Wirkungen hinsichtlich der betrachteten Bewertungsdimensionen zusammengefasst und hieraus Kostenwirkungen für Extrembilder berechnet.

In Teil D erfolgt die Auswertung und Interpretation der in den Modellrechnungen erzielten Ergebnisse. Hierzu werden diese in Kapitel 13.1 unter Beachtung der dem Modell zugrunde liegenden Festlegungen und Einschränkungen vor dem Hintergrund

der aufgestellten Forschungshypothese reflektiert. Kapitel 13.2 widmet sich der kritischen Reflexion des Verfahrens selbst hinsichtlich dessen Erfüllung der gestellten Bewertungsaufgabe.

In Kapitel 14 werden die Interpretationen der Modellbetrachtungen fortgesetzt und in Ergebnisblöcke zusammengefasst, die jeweils auch den Charakter eines Fazits haben. Im Abschließenden Kapitel 15 werden unmittelbar an das Vorhaben anknüpfende Forschungs- und Entwicklungsbedarfe aufgezeigt.

## A Grundlagen

### 2 Abwasserentsorgung – Begriffe und Strukturdaten

#### 2.1 Abwasserarten

Abwasser setzt sich aus Schmutz- und Niederschlagswasser zusammen. Schmutzwasser entsteht nach häuslichem Gebrauch des Wassers in Privathaushalten, in öffentlichen Einrichtungen sowie nach gewerblicher und industrieller Nutzung. Das von bebauten und befestigten Flächen abfließende Regenwasser wird als Niederschlagswasser bezeichnet (siehe hierzu AbwAG §2).

Die EWG-Abwasserrichtlinie unterscheidet die Begriffe „Häusliches Abwasser“, „Kommunales Abwasser“ und „Industrielles Abwasser“ (EWG 1991: Artikel 2). Demnach sind:

- Häusliches Abwasser: „Abwasser aus Wohngebieten und den dazugehörigen Einrichtungen, vorwiegend menschlichen Ursprungs und der Tätigkeit in Haushalten“.
- Kommunales Abwasser: „Häusliches Abwasser oder Gemisch aus häuslichem und industriellem Abwasser und/oder Niederschlagswasser“.
- Industrielles Abwasser: „Abwasser aus Anlagen für gewerbliche oder industrielle Zwecke, soweit es sich nicht um häusliches Abwasser und Niederschlagswasser handelt“.

Der in der amtlichen Statistik verwendete Begriff der öffentlichen Abwasserbeseitigung deckt sich nach den hierin subsummierten Abwasserarten mit dem oben aufgeführten Begriff des kommunalen Abwassers. Die Zusammensetzung kommunaler Abwässer bzw. des Abwassers der öffentlichen Abwasserbeseitigung unterscheidet sich deutschlandweit nur sehr wenig. Diese hängt wesentlich von den Lebensgewohnheiten der Abwasserverursacher ab, welche sich hinsichtlich der Wassernutzung in Deutschland nicht gravierend unterscheiden (siehe auch Svoboda 2002, 2). Anders verhält es sich bei gewerblichen und industriellen Abwässern. Hier unterscheiden sich die Abwässer in der Zusammensetzung bzw. hinsichtlich des Verschmutzungsgrades zum Teil erheblich.

Beim häuslichen Abwasser, das überwiegend in Privathaushalten anfällt, werden weitere Teilströme des anfallenden Schmutzwassers unterschieden. Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihres Ursprungs und hinsichtlich ihrer Zusammensetzung. Als Grauwasser wird das in der häuslichen Tätigkeit anfallende Schmutzwasser aus Küche, Bad, Waschmaschine etc. bezeichnet. Schwarzwasser sind Sanitärabwässer der Toiletten und Urinale. Diese werden weiter unterschieden in Gelbwasser (Urinale) und Braunwasser (Schwarzwasser ohne Gelbwasser) (siehe auch Oldenburg, Otterpohl 2001).



## 2.2 Abwasserbeseitigung

Die Abwasserbeseitigung zählt zu den kommunalen Pflichtaufgaben, die im Rahmen der Daseinsvorsorge zu leisten sind (§ 18a WHG in Verbindung mit den jeweiligen Landeswassergesetzen). Zur Erfüllung dieser Pflichtaufgabe können sich die Aufgabenträger (Städte und Gemeinden) Dritter bedienen (§18a Abs. 2a WHG). Die Abwasserbeseitigung ist so zu erfüllen, dass „das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird“ (WHG, §18a (1)). Hierbei sind Anforderungen an die Ortshygiene und den Gewässerschutz mit „vertretbarem wirtschaftlichen Aufwand“ einzuhalten (Maus, Schröder 2000, 1427).

Das Wasserhaushaltsgesetz unterteilt die Aufgaben der Abwasserbeseitigung in mehrere Teilaufgaben:

- Ableitung (Sammlung und Fortleitung),
- Behandlung und
- Einleitung des Abwassers.

Die Ableitung umfasst das Sammeln des Abwassers in Kanälen, Hauskläranlagen oder Gruben sowie das Fortleiten des Abwassers, das in der Regel über Kanäle, aber auch mobil durch Abfuhr mit dem LKW erfolgen kann. Im Rahmen der Behandlung wird das Abwasser in den Kläranlagen gereinigt. Anschließend erfolgt die Rückführung des gereinigten Wassers in den natürlichen Wasserkreislauf, entweder durch Einleitung in die natürlichen Gewässer oder über Versickerung oder Verregnung in das Grundwasser (s. WHG, §18a (1)). Bei unbelastetem Abwasser (z. B. Kühlwasser) entfällt in der Regel eine Behandlung des Wassers in einer Kläranlage.

Während die Teilaufgaben Ableitung und Behandlung bei abwasserwirtschaftlichen Betrachtungen der öffentlichen Abwasserentsorgung meist getrennt aufgeführt werden, werden die Bereiche Behandlung und Einleitung oft zu einem Aufgabenkomplex zusammengefasst (stellvertretend ATV/DVWK/BGW 2003).

## 2.3 Abwasserströme

Im Jahre 2004 wurden in der Bundesrepublik 37.208 Mio. m<sup>3</sup> Abwasser in den natürlichen Wasserkreislauf eingeleitet. Der Anteil der öffentlichen Abwasserbeseitigung betrug hiervon lediglich 25 %. Der größte Teil entstammte aus Kraftwerken, wo große Mengen an Wasser zur Kühlung im Kraftwerksprozess eingesetzt werden. 16 % fiel in den Bereichen des verarbeitenden Gewerbes, dem Bergbau sowie der Gewinnung von Steinen und Erden an. Verglichen mit der Aufmerksamkeit, die der öffentlichen Abwasserentsorgung zuteilwird, erscheint dessen Anteil am Gesamtvolumenstrom zunächst vergleichsweise gering. Ganz anders zeigt sich das Bild, wenn nur die Abwassermenge betrachtet wird, die vor Einleitung eine Behandlung erfahren hat. Dies betrifft ca. 28 % der Gesamtmenge des eingeleiteten Abwassers. Hiervon kommen 91 %

aus dem Bereich der öffentlichen Abwasserentsorgung und 9 % aus dem verarbeitenden Gewerbe. Kühlwasser wird in der Regel unbehandelt eingeleitet (Statistisches Bundesamt 2006b).

In der öffentlichen Abwasserentsorgung fielen im Jahre 2004 63 % des Abwasserstroms als Schmutzwasser an, 21 % als Niederschlagswasser. 16 % der Abwassermengen, die in den Behandlungsanlagen ankommen, dringt als Fremdwasser<sup>15</sup> unkontrolliert in die Kanäle ein (Statistisches Bundesamt 2006b).

Die Ableitung des kommunalen Abwassers erfolgt im Trenn- oder Mischverfahren. Beim Trennverfahren werden Schmutzwasser und Niederschlagswasser in getrennten Kanälen geführt, beim Mischverfahren werden Schmutz- und Niederschlagswasser im selben Kanal abgeleitet. 2004 wurden in Deutschland ca. 60 % der Abwassernetze im Mischsystem betrieben<sup>16</sup>. Erhebliche Abweichungen hiervon zeigen jedoch vorliegende Länderdaten. Diese streuen zwischen Mischwasser-Netzlängenanteilen von unter 10 % in Niedersachsen, Mecklenburg Vorpommern und Brandenburg bis zu über 90 % im Saarland (Abbildung 2-1).

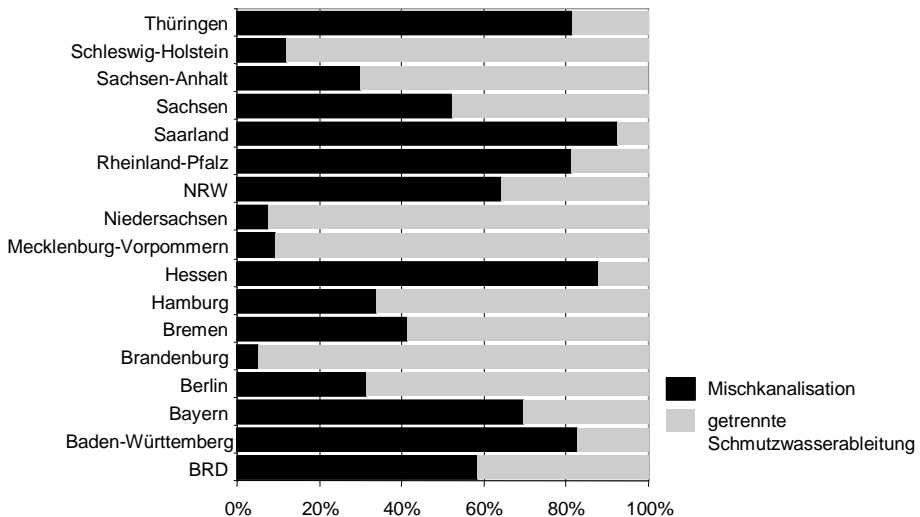


Abbildung 2-1: Kanallängen der Schmutzwasserableitung im Misch- und Trennverfahren – Anteile an der Gesamtnetzlänge (2004) (eigene Berechnung auf Grundlage von Statistisches Bundesamt 2006b)

<sup>15</sup> Zusätzlich zu dem im Kanal abgeleiteten Schmutz- und Niederschlagswasser kommt es z. B. aufgrund von Fehlan Schlüssen zu einem unkontrolliertem Eindringen (Infiltration) von Grund-, Drän-, Quell- oder Oberflächenwasser in die Kanalisation. Dieses unkontrolliert eindringende Wasser wird als Fremdwasser bezeichnet (Lucas 2003, 13).

<sup>16</sup> Eigene Schätzung auf Grundlage von Angaben zu verlegten Kanallängen. Die Gesamtnetzlänge wurde dabei aus der Summe der Kanallängen für Mischwasser zuzüglich der Summe der Kanallängen reiner Schmutzwasserkanäle ermittelt (Datengrundlage: Statistisches Bundesamt 2006b).

2.4 Anschlussgrad

In Deutschland ist die Erschließung der Siedlungsgebiete mit Systemen der zentralen Abwasserentsorgung weit vorangeschritten. 2004 führten 96 % der Einwohner ihr Abwasser über die öffentliche Kanalisation ab. Die Einwohner ohne Anschluss an die öffentliche Kanalisation entsorgten ihr Abwasser überwiegend in Kleinkläranlagen oder abflusslose Gruben. Zwischen den Bundesländern variiert die Höhe des erreichten Anschlussgrades. Die höchsten Werte werden mit 100 % in Bremen erreicht, die niedrigsten Anschlussquoten werden mit 83 % für das Land Brandenburg angegeben (Statistisches Bundesamt 2006b). Wenig überraschen die hohen Anschlussquoten in den Stadtstaaten; im Gegenteil – in Berlin würde man eher erwarten, dass 100 % der Bevölkerung über einen Anschluss verfügen. Dem ist nicht so. 2 % der Einwohner entsorgen auch hier dezentral, meist über abflusslose Gruben.

Auf Länderebene zeichnet sich deutlich ein West-Ost Gefälle hinsichtlich der erfolgten zentralen Erschließung ab. Im Jahre 2004 betrug der Anschlussgrad in Westdeutschland im Mittel 97 %. Sämtliche Flächenländer im Osten wiesen geringere Anschlussquoten auf. Sie lagen hier im Mittel bei 87 %, wenngleich in den zurückliegenden Jahren ein erheblicher Aufholprozess stattgefunden hat (Abbildung 2-2). Während in Westdeutschland der Anschlussgrad zwischen 2001 und 2003 um 0,5 Prozentpunkte zunahm, stieg er in Ostdeutschland im selben Zeitraum um 3 Prozentpunkte an. Den stärksten Ausbau erfuhr die zentrale Abwasserentsorgung im Land Brandenburg, wo der Anschlussgrad zwischen 2001 und 2004 um 7,6 Prozentpunkte erhöht wurde (Statistisches Bundesamt 2003a, 2006b).

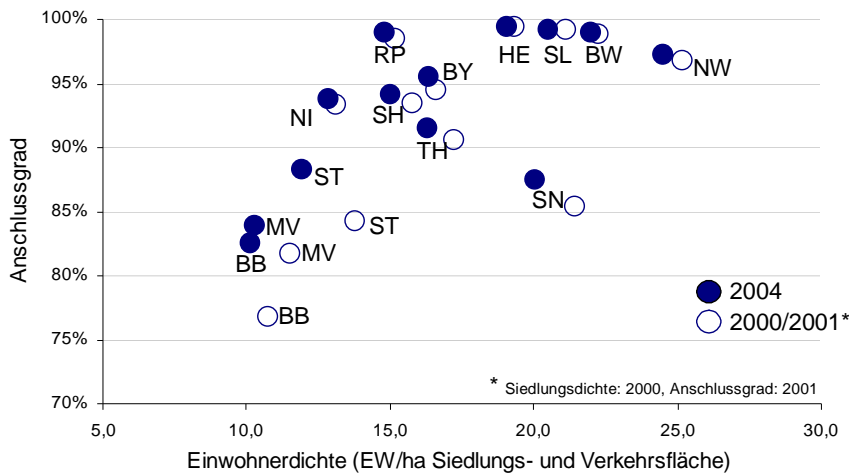


Abbildung 2-2: Anschlussgrad und Siedlungsdichte in den Flächenstaaten Deutschlands in den Jahren 2001 und 2004 (eigene Berechnung auf Grundlage von Statistisches Bundesamt 2003a, 2006b und Angaben aus der Flächen- und Bevölkerungsstatistik)

Während der Anschlussgrad weiter zunimmt, ist die Siedlungsdichte in nahezu allen Flächenstaaten rückläufig. Dies betrifft in besonderem Maße Ostdeutschland, wo sich Flächenausdehnung und Bevölkerungsrückgang überlagern (siehe hierzu auch Abbildung 4-3 in Abschnitt 4.1.2).

Der Ausbau der Anschlussgrade fand in den zurückliegenden Jahren überwiegend in Gemeinden mit geringen Einwohnerzahlen statt. Diese weisen in der Regel geringe Siedlungsdichten auf (siehe hierzu auch Schiller et al. 2007, 38 ff.). Damit erstreckt sich das Leitungsnetz zunehmend über Siedlungsgebiete mit vergleichsweise hohen spezifischen Erschließungsaufwendungen. Größere Gemeinden und Großstädte sind dagegen bereits weitestgehend zentral erschlossen (Abbildung 2-3).

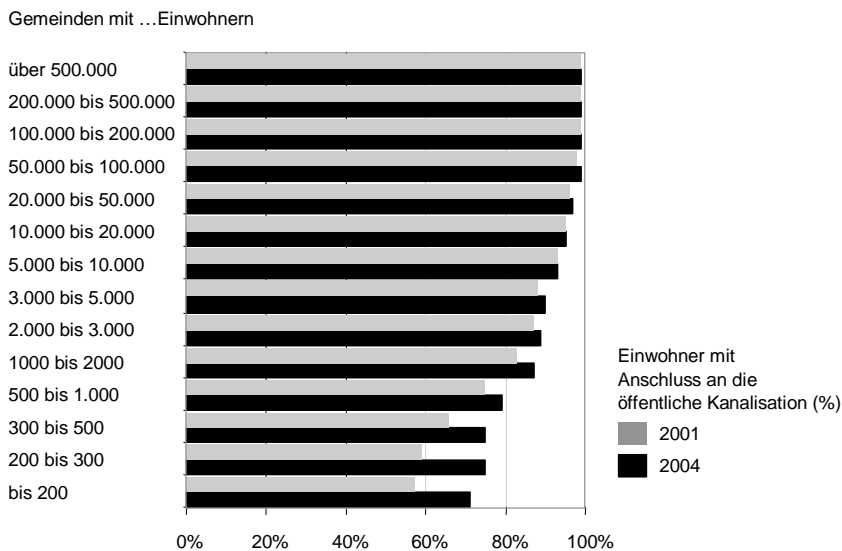


Abbildung 2-3: Anschlussgrad an die öffentliche Abwasserentsorgung in Deutschland nach Gemeindegrößenklassen (Datenquelle: Statistisches Bundesamt 2003a, 2006b)

## 2.5 Spezifische Kanallängen und Altersstruktur der Kanalisation

Im Jahr 2004 erstreckte sich das Kanalnetz der öffentlichen Abwasserentsorgung im gesamten Bundesgebiet über 514.900 km (Statistisches Bundesamt 2006b). Dies entspricht einem spezifischen Leitungsaufwand von 6,5 m je angeschlossenem Einwohner. 1991 lag dieser Wert noch bei 4,9 m je Einwohner und stieg dann innerhalb von nur 13 Jahren kontinuierlich um insgesamt 35 % an (Abbildung 2-4). Hier spiegeln sich die im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Trends der Veränderungsdynamik von Dichte und Erschließungsgrad wider. Der für die Abwassersammlung zu leistende Aufwand steigt also kontinuierlich an und wird, wenn der Entdichtungstrend anhält, auch noch weiter zunehmen.

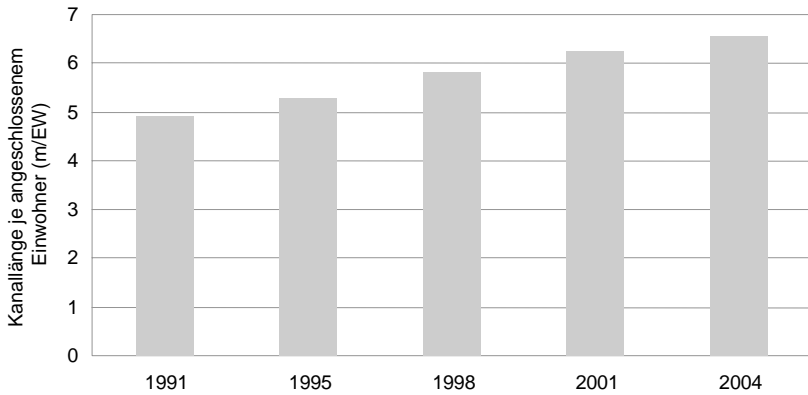


Abbildung 2-4: Spezifische Kanallängen je angeschlossenem Einwohner von 1991 bis 2004 (Quelle: Statistisches Bundesamt 2006b)

Abwasserkanäle weisen zum Teil sehr hohe Nutzungsdauern auf. Vorliegende Regelwerke gehen von Liegezeiten zwischen 50 bis 80 Jahren aus (LAWA 2005: Anlage1-1). In der Praxis liegen Nutzungsdauern zum Teil weit darüber (Herz 1999).

Mindestens 15 % des Kanalnetzes in Deutschland ist 50 Jahre und älter. In diesen Beständen stehen kurz- und mittelfristig Erneuerungen an. In den kommenden Jahren rücken erhebliche Teile des Netzes in diese kritische Altersklasse nach. Dies betrifft vor allem die in Westdeutschland verlegten Kanäle, von denen ca. 30 % der Netze zwischen 1960 und 1980 erbaut wurden (Abbildung 2-5).

Beruhend auf einer Umfrage von Mitgliedsunternehmen aus dem Jahre 2004 weist der DWA in den älteren Altersklassen deutlich höhere Anteile aus, als in Abbildung 2-5 angegeben wird (Berger, Lohaus (o. A.), 4). Demnach sind ca. 20 % des Kanalnetzes kurz bis mittelfristig sanierungsbedürftig. Ungefähr dieselbe Menge weist geringfügige Schäden auf und muss langfristig saniert werden. Es ist deshalb anzunehmen, dass es sich bei Kanälen der Kategorie „unbekanntes Baualter“ aus Abbildung 2-5 überwiegend um ältere Abschnitte handelt.

Tatsächlich werden die zum Substanzerhalt erforderlichen Erneuerungsraten vielerorts unterschritten. So waren nach einer Investitionsbedarfsschätzung des Deutschen Instituts für Urbanistik für die Jahre 2000 bis 2009 62,8 Mrd. Euro für die Sanierung und Erneuerung der Infrastruktur im Bereich Abwasser erforderlich (Reidenbach u. a. 2002). Dies entspricht einem jährlichen Finanzbedarf von rund 6,3 Mrd. Euro. Dem stehen laut „aktuellem Branchenbild“ der deutschen Wasserwirtschaft rund 5,5 Mrd. Euro gegenüber (Kozioł 2006, 360 f.).

Im ostdeutschen Netz fällt der vergleichsweise hohe Anteil der Kanäle jüngeren Datums auf. 60 % der Kanäle sind jünger als 30 Jahre. In Westdeutschland liegt im Vergleich dazu der entsprechende Anteil bei 35 %.

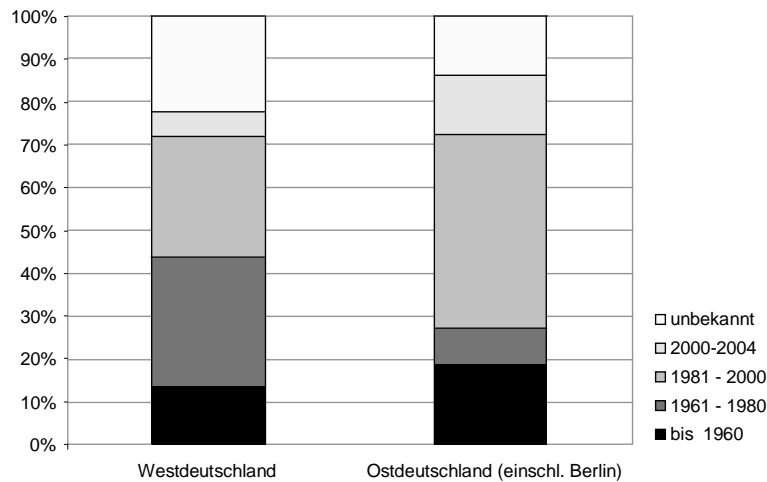


Abbildung 2-5: Altersstruktur der Kanalisation in den Alten und Neuen Ländern (Quelle: Statistisches Bundesamt 2006b)



### 3 Zentral oder Dezentral

#### 3.1 Stellung dezentraler Entwässerungssysteme in der Abwasserwirtschaft

Durch die systematische Einführung und den kontinuierlichen Ausbau einer geregelten Abwasserentsorgung konnte seit Ende des 19. Jahrhunderts ein erheblicher Beitrag zur Verbesserung der Ortshygiene und des Gewässerschutzes geleistet werden. Dies ist vor allem auf die konsequente Ausrichtung der Abwasserentsorgung auf zentrale Entwässerungssysteme, meist bestehend aus Schwemmkanalisation und zentraler Abwasserreinigungsanlage, zurückzuführen (u. a. Wilderer et al. 1998, 1). Oberste Maxime dieser Entwicklung war und ist bis heute der Schutz der Gewässer sowie die Gewährleistung der Ortshygiene. Dies mit vertretbarem Aufwand sicherzustellen, ist Aufgabe der Abwasserwirtschaft (u. a. Maus, Schröder 2000, 1427).

Bis in die heutige Zeit wurde überwiegend die Ansicht vertreten, dass die genannten Anforderung nur durch zentrale Systeme zu erfüllen seien. Kritisiert wurden vor allem die geringeren Reinigungsleistungen dezentraler Lösungen<sup>17</sup>. Über einen langen Zeitraum wurden deshalb dezentrale Systemlösungen nur als Ausnahme- und Übergangslösungen akzeptiert.

In Gebieten ausreichender Siedlungsdichte kann die Zielvorgabe „Zentral vor Dezentral“ wirtschaftlich umgesetzt werden. Viele Anschlussnehmer können mit vergleichsweise geringen Leitungslängen erfasst werden, sodass sich dichte- und größenbezogene Skaleneffekte einstellen (stellvertretend Maus, Schröder 2000, 1427; Fehr 1992, 2-5). In dünn besiedelten Gebieten treten entsprechende Effekte jedoch deutlich abgeschwächt auf. Hier können sehr viel weniger Einwohner mit derselben Kanallänge erreicht werden.

Mit zunehmender Ausweitung der zentralen Erschließung drängten Neuerschließungen immer weiter in vergleichsweise dünn besiedelte Gebiete vor (s. auch Abschnitt 2.4). So stellte sich mehr und mehr die Frage, welcher Aufwand noch als „wirtschaftlich vertretbar“ akzeptiert werden kann.

Vor diesem Hintergrund, flankiert durch Weiterentwicklungen der verfügbaren technischen Systeme hinsichtlich der Technologie, vor allem aber auch hinsichtlich der Überwachung der steigenden Anzahl dezentraler Systeme (u. a. Hoheisel 2000, 1506), zeichnete sich Mitte bis Ende der 90er Jahre eine Abkehr vom Primat zentraler Lösungen ab (Maus, Schröder 2000, 1427). Dezentrale Lösungen werden seither im ländli-

---

<sup>17</sup> In Nordrhein Westfalen hatten im Jahr 2000 7 % der Einwohner, die überwiegend an dezentrale Systeme angeschlossen waren, 70 % der kommunalen Abwasser-Restfrachten im Gewässer zu verantworten (Geyer und Holländer 2005, 13)



chen Raum immer häufiger als dauerhafte Lösung akzeptiert (Felde, Burmester 2001, 5; Franz et al. 2005, 141; Selle 2004, 2).

Dies gab einer anderen Argumentationslinie Aufwind, die Vorteile dezentraler Systeme aus Sicht des Ressourcen- und Landschaftsschutzes herauszustellen versucht. Demnach ermöglichen dezentrale Strukturen eine umfassende Kreislauflührung des Wassers sowie darin enthaltener Substanzen, die der Regeneration der Landschaft zuträglich sind. Genannt werden in diesem Zusammenhang z. B. Phosphor, Stickstoff, Kalzium und Magnesium (s. Ripl 2004, 15 ff.). Ripl sieht hierin den einzig gangbaren Weg, einer zunehmenden Auswaschung unserer Böden mit lebenswichtigen Nährstoffen entgegenzuwirken. Aufgrund der Schwerpunktsetzung auf die Kostenbetrachtung soll dieser Diskussionsstrang in dieser Arbeit jedoch nicht vertieft werden.

Der Wandel in der Akzeptanz dezentraler Anlagen, von der geduldeten Übergangslösung zur Alternative zum vorherrschenden zentralen System, schlägt sich inzwischen in Gesetzestexten und Verordnungen nieder. Als wichtige Rahmen setzende Weichenstellung wird in diesem Zusammenhang die Anerkennung dezentraler Anlagen im Wasserhaushaltsgesetz (WHG) angesehen. So besagt die Novellierung des Gesetzes vom 12.11.1996, dass auch die Beseitigung von häuslichem Abwasser durch dezentrale Anlagen dem Wohl der Allgemeinheit entsprechen kann (§ 18 a Abs. 1 WHG, zitiert in Selle 2004, 4). Andere Beispiele liefern vorliegende Novellierungen einschlägiger Regelwerke. So legt die novellierte Kleinkläranlagenrichtlinie des Landes Brandenburg aus dem Jahr 2003 explizit fest, dass Kleinkläranlagen umweltverträgliche und kostengünstige Dauerlösungen sein können (Land Brandenburg 2003a, Punkt 1 – Einleitung). Gleichzeitig wurden die baurechtlichen Zulassungsbedingungen dezentraler Anlagen verbessert und an den inzwischen erfolgten technischen Fortschritt angepasst. Passagen in alten Fassungen der Landesbauordnung, wie "Kläranlagen dürfen nur errichtet werden, wenn nicht in eine Sammelkanalisation eingeleitet werden kann", wurden ersatzlos gestrichen (Landesbauordnung Brandenburg in der Fassung vom Sommer 2003, zitiert in Gemmel 2004, 14). Auch förderpolitisch wurden Weichenstellungen entsprechend korrigiert. So setzte das Land Brandenburg in einer Überarbeitung von Förderrichtlinien für öffentliche Abwasserentsorgungs- und Kleinkläranlagen im Jahr 2002 für zentrale und dezentrale Entsorgungssysteme dieselben (einwohnerbezogenen) Fördersätze an (Gemmel 2004, 12). Auch in Sachsen wird die Errichtung und Erhaltung von privaten Kleinkläranlagen inzwischen staatlich gefördert, sofern die Anlagen den wasserrechtlichen Anforderungen genügen und Kostenvorteilhaftigkeit nachgewiesen wird (SMU 2007).

Im dünn besiedelten ländlichen Raum ist die Einbeziehung dezentraler Lösungsvarianten bei Fragen der Neuerschließung und anstehenden Ersatzinvestitionen inzwischen obligatorisch. Nach den Grundsätzen für die Abwasserentsorgung in ländlich strukturierten Gebieten (ATV-A 200, 1997) sind in Gebieten mit Einwohnerdichten unter 25 EW/ha dezentrale Systemlösungsalternativen ausdrücklich in den Alternativvergleich

abwassertechnischer Systemlösungen mit einzubeziehen. Bislang werden entsprechende Vergleiche aber nahezu ausschließlich für den Fall der Neuerschließung unter Wachstumsannahmen angestellt. Aktuelle Arbeiten fordern deshalb eine stärkere Würdigung aktueller Trends, indem auch negative Anschluss- und Wasserverbrauchs-entwicklungen Berücksichtigung finden (Franz et al. 2005, 144 ff.).

Vor dem Hintergrund aktueller Veränderungen der Rahmenbedingung für Ver- und Entsorgungsdienstleistungen erhält die Dezentralisierungsdebatte derzeit eine neue Dimension. Während es bislang in erster Linie um Fragen des Ausbaus von Systemen in bislang nicht ausreichend erschlossenen Gebieten ging, gewinnen Fragen nach einem Systemwechsel im zentral erschlossenen Bestand an Gewicht (u. a. Libbe 2008a, 10).

In anderen Bereichen der technischen Infrastrukturversorgung wie Telekommunikation und Energieversorgung konzentriert sich diese Debatte stark auf die Themen Liberalisierung und Privatisierung und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Konfiguration der betroffenen technischen und organisatorischen Systeme. Diese Aspekte spielen für die Abwasserwirtschaft bislang eine untergeordnete Rolle (Kluge, Scheele 2008). Eine Ausnahme stellt die aktuelle Diskussion zur Lockerung des Örtlichkeitsprinzips dar, was vor allem Konsequenzen für das organisatorische System von Entsorgungsunternehmen hätte, das technische System dagegen zunächst wenig tangieren würde.

Fragen der Transformation des technischen Abwassersystems sind dagegen vor allem getrieben von der aktuell ablaufenden räumlichen Ausdifferenzierung der Nachfrage. Die derzeit zu beobachtende demografische Entwicklungsdynamik beeinflusst den zu leistenden Aufwand zur Bereitstellung zentraler Lösungen deutlich (s. Abschnitte 2.4 f.). Für dünn besiedelte Gebiete, die von Bevölkerungsverlusten betroffen sind, wird zunehmend gefordert, die Option der Dezentralisierung des Abwassersystems im bereits zentral erschlossenen Bestand zu prüfen (stellvertretend Kluge, Scheele 2008).

Bislang sind jedoch weder auf nationaler noch auf internationaler Ebene Beispiele bekannt, bei denen es zu einem nennenswerten Umbau eines bestehenden, noch funktionsfähigen zentralen Systems gekommen wäre, beispielsweise durch Umkonfiguration in Richtung räumlich differenzierter dezentraler oder semizentraler Ansätze. Vorliegende Beispiele von Dezentralisierungsansätzen in bestehenden Strukturen beziehen sich stets auf kleinräumig abgegrenzte Einzelmaßnahmen, ohne nennenswerte Implikationen für das Gesamtsystem (Scheele 2008, 71).

## 3.2 Begriffliche Abgrenzung von zentraler und dezentraler Entwässerung

### 3.2.1 Vorbemerkung

Die Organisationslehre beschreibt mit dem Begriffspaar Zentralisation/Dezentralisation unterschiedliche Prinzipien der Aufgabenverteilung. Demnach ist Zentralisation die Zusammenfassung von Teilaufgaben auf eine Stelle, Dezentralisation dagegen die Verteilung von Aufgaben auf mehrere Stellen. In der Praxis werden beide Organisationsprinzipien zusammen angewendet. So kann für einzelne betriebliche Bereiche die Zentralisation von Vorteil sein, während in anderen Bereichen gleichzeitig das Prinzip der Dezentralisation vorherrscht. Örtliche Dezentralisation bedeutet nicht zwingend verwaltungsmäßige Dezentralisation. Ein Betrieb kann räumlich in Teilbetriebe aufgeteilt sein, während gleichzeitig Verwaltungsfunktionen zentral organisiert sind (Gabler 1992, 3882; Wöhe 2002, 150).

In der Raumordnung wird das Begriffspaar in erster Linie zur Beschreibung unterschiedlicher Organisationsprinzipien verwendet, in Bezug auf die Zusammenfassung bzw. die Verteilung unterschiedlicher Funktionen der politischen Machtausübung und Erfüllung öffentlicher Aufgaben (Kilper 2005, 171 ff.).

Im Zusammenhang mit der Organisation und Strukturierung technischer Infrastrukturen wird bei der Verwendung des Begriffspaares zentral und dezentral, ähnlich wie in der Organisationslehre, zwischen den Funktionsbereichen Organisation (Verwaltung und Management) und dem technischen System unterschieden. Es wird von technischer Zentralisation bzw. dem technischen Zentralisationsgrad und von organisatorischer Zentralisation bzw. dem organisatorischen Zentralisationsgrad gesprochen (u. a. Truffer et al. 2003, 8; Thurn et al. 2005, 99; Niedersächsisches Umweltministerium 2002, 18). Der organisatorische Zentralisierungsgrad bezieht sich auf das Management und die Verwaltung der Abwasserentsorgung, der technische Zentralisierungsgrad dagegen auf die Bereitstellung und Steuerung des technischen Systems. Dabei können auch hier in den unterschiedlichen Funktionsbereichen unterschiedliche Zentralisierungsgrade zur Ausprägung kommen. So weisen Thurn et al. (2005, 99) auf Optimierungspotenziale durch Bündelung verwaltungsorganisatorischer Aufgaben in der Abwasserentsorgung in ländlich geprägten Regionen mit starkem Bevölkerungsrückgang hin. Bezüglich der Anpassung des technischen Systems wird dagegen in derselben Situation meist empfohlen, Möglichkeiten einer stärkeren Dezentralisierung der vorhandenen Strukturen zu prüfen und, wo möglich, zu nutzen (stellvertretend Koziol 2006, 355 ff.).

Im Rahmen dieser Abhandlung wird das technische System der Abwasserversorgung und damit der technische Zentralisierungs- bzw. Dezentralisierungsgrad betrachtet (s. Abschnitt 1.4.1).

### 3.2.2 Räumliche Dimension der Zentralisierung

Die räumliche Ausprägung und Struktur technischer Abwasserentsorgungssysteme wird von der Anzahl der Behandlungsanlagen, deren Größe sowie deren Einzugsbereiche bestimmt. Ein in räumlicher Hinsicht zentrales technisches System der Abwasserentsorgung besteht aus einer bzw. aus wenigen großen zentralen Kläranlagen, der die Abwässer der angeschlossenen Nutzer des Entsorgungsgebietes über die öffentliche Kanalisation zur Behandlung zugeleitet werden. Unter dezentralen Abwassersystemen werden dagegen Entwässerungslösungen gefasst, bei denen die Abwasserbehandlung in kleinen Behandlungsanlagen erfolgt, die entsprechend kleine Einzugsbereiche abdecken. Dies können einzelne Gebäude oder auch kleinere Hausgruppen sein. Die hierbei eingesetzten Anlagen werden als Kleinkläranlagen (KKA) bezeichnet. Sie fallen unter den Geltungsbereich der DIN 4261 und sind auf eine maximale Auslegung von 50 Einwohnergleichwerten (EWG)<sup>18</sup> begrenzt. Dezentrale Systeme können aufgrund der Nähe zwischen Anfall und Behandlung des Abwassers auf öffentliche Kanäle weitestgehend verzichten (s. Fehr, Schütte 1994, 10).

Zwischen den beiden Extrembildern „Zentral“ und „Dezentral“ existieren Zwischenformen. Diese werden unter dem Begriff „Semizentral“ gefasst (stellvertretend Rudolph et al. 2001, 11, 17; Maus, Schröder 2000, 1428). Maus, Schröder (2000, 1428) grenzen die genannten Zentralisierungsstufen folgendermaßen ab:

- Zentrale Systeme bestehen aus einer zentralen Anlage für ein größeres Entsorgungsgebiet. Die Sammlung des Abwassers erfolgt weitestgehend über die öffentliche Kanalisation. Zwischen den Ortsteilen verlaufen Transportleitungen.
- Semizentrale Systeme sind gekennzeichnet durch mehrere Ortskläranlagen, an die einzelne Gemeinden oder Ortsteile angeschlossen sind. Die Sammlung und Ableitung des Abwassers erfolgt weitestgehend über die öffentliche Kanalisation.
- Dezentrale Systeme bestehen aus Kleinkläranlagen für Einzelgebäude, Grundstücke oder Hausgruppen. Auf die öffentliche Kanalisation kann in solchen Systemen nahezu vollständig verzichtet werden.

Um ein Höchstmaß an Flexibilität in der Modellierung zu erhalten, werden im Rahmen dieser Arbeit Hauskläranlagen für Einzelgebäude als alternatives System zur zentralen Anlage betrachtet (s. Abschnitt 1.4.1).

---

<sup>18</sup> Der Einwohnergleichwert (EGW) dient als Einheit zum Vergleich von gewerblichem oder industriellem Schmutzwasser mit häuslichem Schmutzwasser. Ein EWG entspricht der täglich von einem Einwohner in das Abwasser abgegebenen Menge an organischen Stoffen.

3.2.3 Konzepte der Stoffstromtrennung

Kommunales Abwasser ist ein Gemisch aus unterschiedlichen Abwasserfraktionen (s. Abschnitte 2.1 und 2.3), die gemeinsam oder nach Teilströmen getrennt abgeleitet werden. Diese Teilströme werden im konventionellen Verfahren als Gemisch abgeleitet, können aber auch getrennt und in separaten Systemen geführt werden. Die dann bestehenden Teilsysteme können unterschiedliche Zentralisierungsgrade aufweisen. So unterscheiden Geyler und Holländer (2005, 8) vier Grundvarianten der getrennten Stoffstromführung unter Berücksichtigung der Teilströme „Schmutzwasser“, „Regenwasser“ und „Schlamm“ (Abbildung 3-1).

In „Fall a“ werden alle drei unterschiedenen Fraktionen zentral abgeleitet. Dies kann entweder im Misch- oder im Trennverfahren erfolgen. Diese Systemvariante herrscht in der Praxis vor. Zunehmend gewinnt aber die Variante an Bedeutung, bei der Regenwasser dezentral eingeleitet wird (z. B. durch Versickerung auf dem Grundstück), Schmutzwasser einschließlich des Schlammes jedoch weiter über die Kanalisation abgeleitet werden („Fall b“). In „Fall c“ und „Fall d“ werden die Flüssigfraktionen dezentral abgeleitet. Auf eine öffentliche Kanalisation kann hier weitestgehend verzichtet werden. In der Praxis ist dabei vor allem „Fall c“ anzutreffen, wo Regen- und Schmutzwasser dezentral abgeleitet und behandelt werden, Schlamm aber über eine entsprechende Abfuhr einer zentralen Behandlung zugeführt wird (Geyler, Holländer 2005, 8).



Abbildung 3-1: Elemente zentraler und dezentraler Abwasserbeseitigung (Quelle: Geyler, Holländer 2005: 8)

3.2.4 Dezentrale Kreislaufführung

Bei den oben dargelegten Systematisierungsansätzen von Dezentralisierung stehen die Teilaufgaben Sammlung und Behandlung im Vordergrund. Der dritte Aufgabenkomplex der Abwasserentsorgung, die Einleitung des Abwassers bzw. die Rückführung des gereinigten Wassers in den natürlichen Wasserkreislauf wird dabei nicht explizit mit betrachtet. Hiervon zu unterscheiden ist die Rückführung des Abwassers in eine vorge-lagerte Nutzungsstufe innerhalb des technischen Wasserkreislaufs. Bei letzterem erfolgt eine Mehrfachnutzung des Wassers, ohne dass es zwischenzeitlich durch den natürlichen Wasserkreislauf und das System der öffentlichen Trinkwasserversorgung geleitet wird.

Die hierbei zur Anwendung kommenden technischen Lösungsvarianten sind vielfältig. Sie reichen von der Nutzung von Regenwasser zur Toilettenspülung bis hin zum so genannten „abflusslosen Haus“. Der Abwasserstrom wird in Abwasserfraktionen aufgetrennt, bei sehr ausdifferenzierten Systemen z. B. in Niederschlagswasser, Grau-, Gelb- und Braunwasser und vor Ort mehrfach genutzt oder verwertet (weiterführend hierzu u. a. Schneidmadl et al. 2000, 681; Koziol et al. 2006b, 109 ff.; Gesenhoff 2006; Herbst 2008, 40 ff.). Hinsichtlich der Abwassereinleitung stellen diese Systeme Untervarianten der in Abbildung 3-1 dargestellten Fälle dar.

Im Rahmen dieser Arbeit stehen grundsätzliche raumstrukturelle Fragen im Vordergrund. Dezentralisierung wird dabei unter Berücksichtigung konventioneller dezentraler Abwassersysteme diskutiert, die auf eine Stoffstromtrennung des Schmutzwassers weitestgehend verzichten. Technische Systemvarianten der Stoffstromtrennung und Kreislaufführung werden nicht thematisiert.



## **4 Kostenwirkungen des Nachfragerückgangs im System der zentralen Abwasserentsorgung**

### **4.1 Aspekte des Nachfragerückgangs**

Im Rahmen einer Studie zu sektoralen Rahmenbedingungen im stadttechnischen Transformationsprozess erörtern Koziol et al. (2006b, 27 ff.) vor dem Hintergrund von Wachstum und Stagnation typische Veränderungen von Bedarfsstrukturen. Dabei unterscheiden sie drei Wachstumskategorien. Die Zunahme der spezifischen Bedarfsmenge bezeichnen sie als Mengenwachstum, die räumliche Ausdehnung des Bestandsnetzes als Flächenwachstum und ein durch Zunahme der Siedlungsdichte verursachtes Wachstum als Dichtewachstum. Analog hierzu werden in der nachfolgenden Ausführung folgende Aspekte des Nachfragerückgangs unterschieden: Mengeneffekt, Flächeneffekt und Dichteeffekt.

#### **4.1.1 Mengeneffekt**

Unter Schrumpfbedingungen führt der Mengeneffekt zu einem Rückgang des Abwasseranfalls im Entsorgungsgebiet. Beim Rückgang des Abwasseranfalls ist zwischen dem Rückgang des spezifischen Wasserkonsums pro Kopf und dem absoluten Rückgang der Abwassermenge im Entsorgungsgebiet zu unterscheiden.

In Deutschland gingen der Trinkwasserkonsum und damit auch die Abwassermenge pro Kopf in den vergangenen Jahren kontinuierlich zurück. 1990 konsumierte ein Bundesbürger im Durchschnitt etwa 145 Liter Wasser. Bis 1997 sank dieser Verbrauch auf ca. 130 Liter Wasser pro Tag und Einwohner. Aktuelle Zahlen weisen einen spezifischen Tagesverbrauch von 122 Litern im Bundesdurchschnitt aus. Regional gibt es aber deutliche Unterschiede. 2005 konsumierte ein Einwohner Westdeutschlands im Schnitt täglich über 130 Liter Trinkwasser, im Osten der Republik lag die Marke dagegen bei einem Tagesverbrauch von knapp über 90 Litern (Schleich, Hillebrand 2007, 4; Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen 2006).

Dies hat mehrere Ursachen. Zu nennen ist hier zunächst das Verbrauchsverhalten. Eine aktuelle Studie des Fraunhofer Instituts System und Innovationsforschung weist in einer unlängst abgeschlossenen Studie, in der Strukturdaten aus etwa 600 Versorgungsgebieten Deutschlands ausgewertet wurden, auf einen engen Zusammenhang zwischen Verbrauchsverhalten und ökonomischen Parametern hin (Schleich, Hillebrand 2007). Wasserpreis und Einkommen werden als zwei Faktoren mit wesentlichem Einfluss auf das Wasserverbrauchsverhalten identifiziert. Mit zunehmendem Wasserpreis nimmt der Wasserverbrauch signifikant ab. Dies ist besonders ausgeprägt in Gebieten mit geringen Einkommen. Darüber hinaus werden weitere Parameter mit Einfluss auf das Wasserverbrauchsverhalten genannt. So wird eine negative Korrelation zwischen der Haushaltsgröße und dem spezifischen Wasserverbrauch aufgezeigt. Weiter scheint



es einen Zusammenhang zwischen Wasserverbrauch und Altersstruktur der Bewohner zu geben. Überraschenderweise steigt der Wasserverbrauch mit zunehmendem Durchschnittsalter der Einwohner an. Die Studie fasst zusammen, dass ein Trend zu einem geringeren Wasserverbrauch allgemein zu beobachten ist. Hierzu trägt auch die zunehmende Effizienz im Wasserverbrauch der Hausgeräte und Installationen mit bei, die in den vergangenen Dekaden deutlich angestiegen ist<sup>19</sup>. Regional und lokal bestehen jedoch deutliche Unterschiede.

In Entsorgungsgebieten mit zurückgehender Bevölkerung wird der spezifische Rückgang des Wasserkonsums nicht, wie unter Wachstumsbedingungen der Fall, teilweise oder ganz kompensiert. Im Gegenteil, er schlägt voll auf den absoluten Verbrauch durch und wird durch den Effekt des Bevölkerungsrückgangs weiter verstärkt. Vorliegende Daten aus ausgewählten betroffenen Kommunen zeigen mögliche Auswirkungen eindrucklich. Innerhalb weniger Jahre hat sich in den in Abbildung 4-1 dargestellten Beispielstädten die nachgefragte Wassermenge mehr als halbiert<sup>20</sup>.

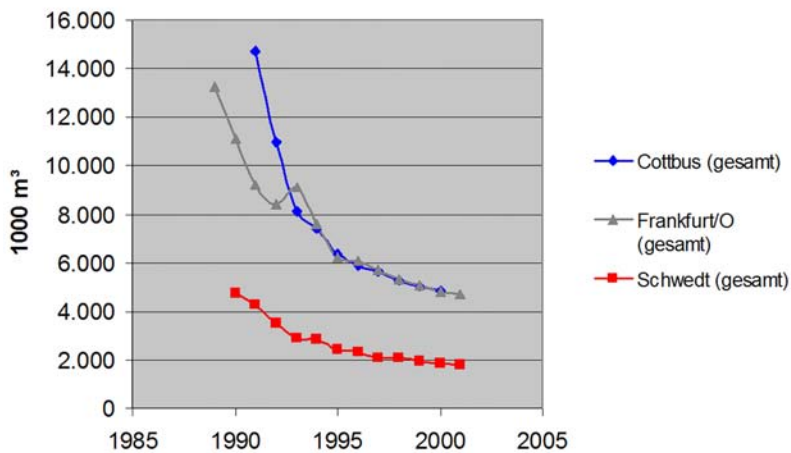


Abbildung 4-1: Entwicklung des Wasserverbrauches in ausgewählten Städten (Quelle: Koziol et al. 2006, 46)

<sup>19</sup> Ein Blick auf Herstellerangaben von Haushaltsgeräten verdeutlicht die enormen Effizienzsteigerungen verfügbarer Geräte in den vergangenen Jahren 20 bis 30 Jahren. So weisen verfügbare Quellen Einsparungen von 60 % bei Waschmaschinen in den zurückliegenden 20 Jahren und über 80 % bei Geschirrspülern in den zurückliegenden 30 Jahren aus (Miele 2003, zitiert in Rothenberger 2003).

<sup>20</sup> Ursachen hierfür liegen neben der demografischen Entwicklung auch in entsprechenden Veränderungen in den Bereichen Gewerbe und Industrie begründet. Der Beitrag dieser Bereiche zur dargestellten Entwicklung wird in der zitierten Quelle nicht benannt. Demografische Schrumpfungsprozesse schließen Schrumpfungsprozesse auf dem Arbeitsmarkt und in den Gewerbe- und Industriestrukturen aber in der Regel ein.

#### 4.1.2 Dichte- und Flächeneffekt

Dichte- und Flächeneffekte führen unter Schrumpfungsbedingungen zu einem Anstieg spezifischer Kanalaufwendungen.

Veränderungen der Anschlussdichten sind auf Veränderungen der Anzahl der angeschlossenen Nutzer sowie deren Verteilung im Entsorgungsgebiet zurückzuführen. Sinkt die Anzahl der Einwohner bzw. der Haushalte eines erschlossenen Gebietes, geht die Anschlussdichte im betroffenen Gebiet entsprechend zurück (Dichteeffekt). Derselbe Effekt tritt ein, wenn das erschlossene Siedlungsgebiet ausgedehnt wird, ohne dass die Zahl der angeschlossenen Bevölkerung entsprechend ansteigt (Flächeneffekt).

Derzeit ist die Entwicklung der Bundesrepublik geprägt von anhaltender Ausdehnung der Siedlungsflächen, steigenden Anschlussgraden und abnehmenden Bevölkerungszahlen. So weisen jüngste Zahlen eine tägliche Flächenumwidmung in Höhe von 106 Hektar aus (Statistisches Bundesamt 2008a), und dies vor dem Hintergrund inzwischen rückläufiger Bevölkerungszahlen (s. Abschnitt 1.1.1). Allein im Zeitraum von 1996 bis 2004 ging die Siedlungsdichte von 19,5 auf 18,1 Einwohner pro Hektar zurück<sup>21</sup>.

Infolge rückläufiger Dichten stieg der spezifische Kanalaufwand je Einwohner in den vergangenen Jahren ständig an (s. Abschnitt 2.5). Auf Quartiersebene folgt dieser Anstieg einem exponentiellen Kurvenverlauf (Abbildung 4-2)<sup>22</sup>.

Nachweisen lässt sich dieser Zusammenhang aber bereits auf Grundlage hochaggregierter Daten auf Landesebene. So zeigt die in Abbildung 4-3 aufgeführte Auswertung statistischer Landesdaten einen deutlichen Zusammenhang zwischen Siedlungsdichte und Kanalaufwand je Einwohner. Deutlich wird dabei auch der aktuelle Trend hin zu geringeren Dichten und höheren Aufwendungen, auf den bereits in Abschnitt 2.4 hingewiesen wird.

---

<sup>21</sup> Eigene Berechnung auf Grundlage von Bevölkerungs- und Flächendaten der Länder.

<sup>22</sup> Dieser exponentielle Zusammenhang wird ähnlich in zahlreich vorliegenden theoretischen Betrachtungen sowie empirischen Arbeiten nachgewiesen, wie beispielsweise AG Baden-Württembergischer Bausparkassen/Wirtschaftsministerium BW (1999), Brinckmann (1991), Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (1998), Braumann (1988), Ecoplan (2000), Gassner (1969), Gassner u. a. (1986, 1990), Göderitz (1954), Gutsche (2006), Holst u. a. (1997), Hudelmaier (1976), Jenssen, Karakoyun (2005), von Barby (1974), Weeber, Rees (1999).

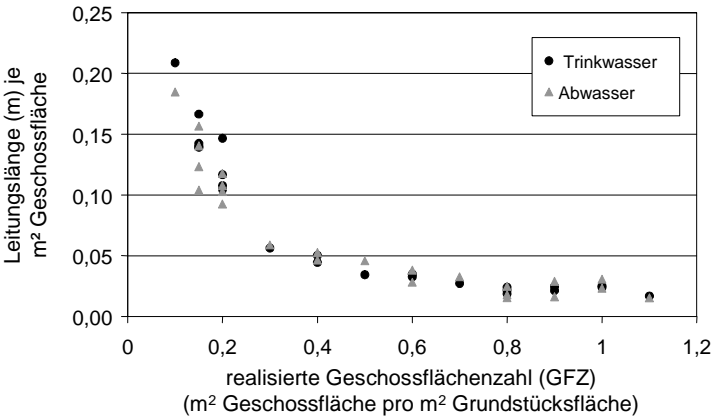


Abbildung 4-2: Spezifische Längen von Schmutz- und Trinkwasserkanälen, hier bezogen auf die Geschossflächendichte (=realisierte Geschossflächenzahl), basierend auf empirischen Erhebungen in Gebietsausschnitten (Quartiersebene) mit homogener Bebauungsstruktur (verändert nach Siedentop et al. 2006, 109)

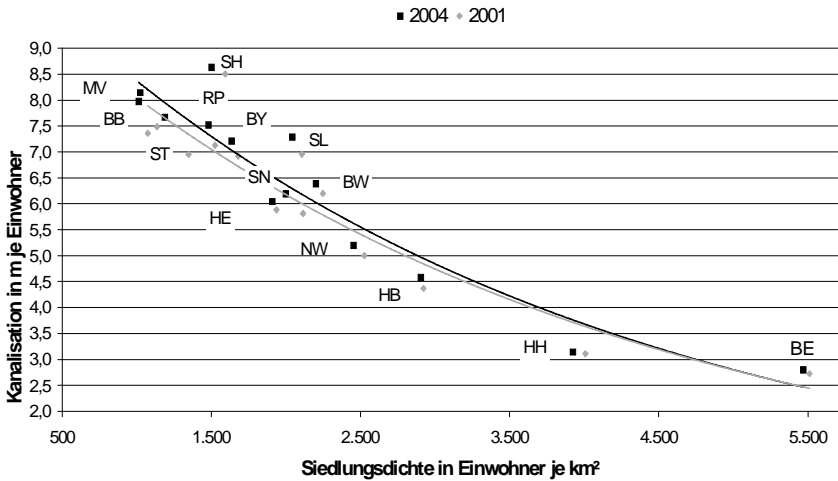


Abbildung 4-3: Siedlungsdichte und Länge der öffentlichen Kanalisation in Meter je Einwohner nach Bundesländern 2001 und 2004 (ohne Niedersachsen und Thüringen) (Berechnungen von Westphal 2008 nach Angaben der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder) (verändert nach Westphal 2008, 204)<sup>23</sup>

<sup>23</sup> Die Werte der beiden genannten Länder wurden von der Bearbeiterin aus der Auswertung herausgenommen, da sie Unplausibilitäten aufweisen, die vermutlich auf Umstellungen der statistischen Erhebungsmethoden in den genannten Ländern zurückzuführen sind.

## 4.2 Funktionale Beeinträchtigungen

Technische Systeme werden auf Kapazitätsbereiche ausgelegt, innerhalb derer die Anlagen im Normalbetrieb ordnungsgemäß betrieben werden können. Außerhalb dieser Bereiche können Funktionsstörungen durch Unter- oder Überlastung einzelner Anlagenkomponenten auftreten. Unter Schrumpfungsbedingungen tritt insbesondere der Fall der Unterauslastung auf. Dabei können zwei Stufen der Unterauslastung unterschieden werden.

Nach Überschreiten einer ersten Funktionsschwelle kommt es zu Qualitätseinbußen und zu Funktionseinschränkungen. Bei zurückgehenden Abwassermengen sinkt die Fließgeschwindigkeit in Freispiegelleitungen. Es kommt zu anaeroben Verhältnissen und der verstärkten Bildung von Schwefelwasserstoff. Dadurch entstehen Geruchsemissionen. In den Kanälen entsteht zudem ein Milieu, das eine verstärkte Korrosion begünstigt. Um diesen Effekten entgegenzutreten, müssen Kanäle in regelmäßigen Abständen gespült oder belüftet werden. Weiter kann dem durch die Zugabe von Chemikalien wie Nutriox oder Eisenschlamm Einhalt geboten werden. Überschreitet die Auslastung die zweite Funktionsschwelle, steigt das Havarierisiko deutlich an. Tritt der Havariefall ein, fällt das System aus und muss erneuert werden. Dies ist z. B. der Fall, wenn es durch anhaltende verstärkte Korrosion zu Rohrbrüchen kommt (s. u. a. Herz et al. 2002, 52; Freudenberg, Koziol 2003, 62; Marschke 2004, 80).

Zu Schwellenwerten, bei denen betriebstechnische Maßnahmen ergriffen werden müssen bzw. bei denen das Havarierisiko drastisch ansteigt, liegen Schätzungen vor. Nach einer Querauswertung von Westphal (2008, 213)<sup>24</sup> müssen ab einer Unterauslastung von 50 % verstärkt betriebstechnische Maßnahmen ergriffen werden, um Funktionsstörungen durch Korrosion und Geruchsbildung zu vermeiden. Unter Beachtung des allgemeinen Rückganges des Abwasserverbrauchs werden diese Schwellen in Gebieten mit Wohnungsleerständen von ca. 30 % erreicht (Koziol 2004, 71).

## 4.3 Kosteneffekte

### 4.3.1 Skaleneffekt

Zentrale Entsorgungslösungen stellen aus ökonomischer Sicht ein natürliches Monopol dar. Aufgrund von Größenvorteilen (economies of scale) liegen subadditive Kostenfunktionen vor. Hierbei sinken die Durchschnittskosten bei Erweiterung der „Produktionsmenge“ (s. Geyler, Holländer 2006, 9 f.). Im Bereich der zentralen Sammlung des Abwassers in der Kanalisation treten derartige Größeneffekte in Form von Dichtevorteilen auf (economies of density). Mit ansteigenden Nutzungsdichten können bei

---

<sup>24</sup> u. a. unter Berücksichtigung der Quellen: Freudenberg, Koziol 2003; Herz et al. 2002; Koziol, Walther 2002; Koziol, Walther 2006

gleich bleibender Abwassermenge bzw. Einwohneranzahl niedrigere spezifische Kosten bei der Abwasserableitung realisiert werden (s. z. B. Halbach 2003, 43 ff., Land Brandenburg 2003b, 27 ff.). Auch bei der Abwasserreinigung treten Größenvorteile auf. Die spezifischen Behandlungskosten sinken in der Tendenz mit der Größe der Reinigungsanlage.

Bei dezentralen Anlagen treten entsprechende Effekte in engeren Grenzen auf. Es kommt zu Skaleneffekten, wenn die Anzahl der Nutzer je Anlage steigt, beispielsweise durch Anschluss mehrerer benachbarter Grundstücke oder bei Entsorgung größerer Gebäude mit mehreren Wohnungen. Auch die Haushaltsgröße wirkt sich auf die Fixkostendegression aus. Werden jedoch viele Kleinkläranlagen parallel errichtet, bleiben die spezifischen Kosten für die Nutzer mit zunehmender Anzahl der Anlagen in etwa konstant (Geyler, Holländer 2006, 9 f.).

Dadurch entfaltet das zentrale System mit ansteigender Dichte und Größe des Systems zunehmend Kostenvorteile gegenüber der dezentralen Einzelanlagenlösung. Dieser Vorteil schwindet bei abnehmender Einwohnerzahl und rückläufiger Dichte. Wird beispielsweise eine kritische Dichte unterschritten, wechselt die Kostenvorteilhaftigkeit, die zentralen Systemen bei höheren Anschlussdichten eigen ist, auf das dezentrale System. Abbildung 4-4 verdeutlicht diesen Zusammenhang anhand prinzipieller Verläufe spezifischer Kosten zentraler und dezentraler Systemkomponenten bei konstanter Anzahl angeschlossener Einwohner, jedoch variierender Einwohnerdichte.

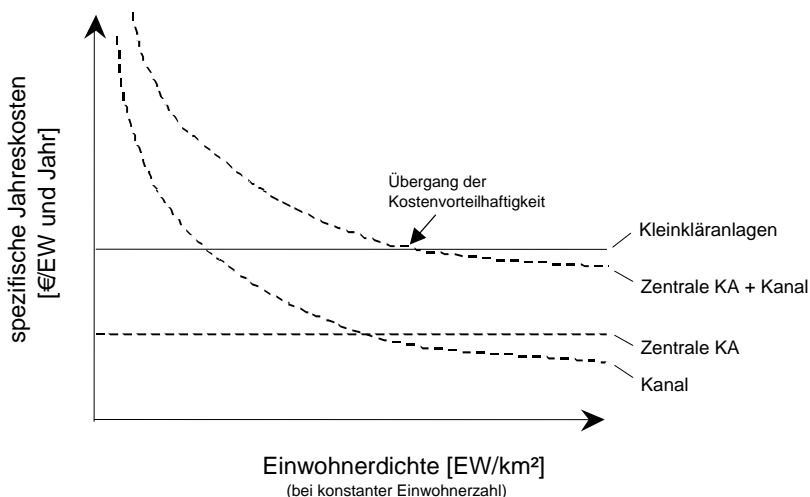


Abbildung 4-4: Prinzipskizze zum Verlauf spezifischer Jahreskosten zentraler und dezentraler Systemlösungen in Abhängigkeit der Dichte (verändert nach Geyler, Holländer 2005, 10)

### 4.3.2 Remanenzeffekt

Die Kostenstruktur der zentralen Abwasserentsorgung zeichnet sich durch hohe Fixkostenanteile aus. Kosten für Abschreibungen, Zinsen, Unterhalt und Personal entstehen nahezu unabhängig davon, wie viel Abwasser abgeleitet und in den Kläranlagen gereinigt wird. Der Fixkostenblock liegt bei etwa 75 % bis 85 % der Gesamtkosten der Abwasserbeseitigung (ATV/DVWK/BGW 2003, 6 ff.). Aufgrund der Langlebigkeit der Anlagen ist die Höhe der Fixkosten mit der getätigten Investition über einen langen Zeitraum festgeschrieben.

Eine Beeinflussung der Höhe dieser Kosten ist bei Nachfragerückgang dann möglich, wenn Anpassungsoptionen bestehen, die technisch-betriebswirtschaftlich möglich, rechtlich zulässig und politisch-administrativ durchsetzungsfähig sind (s. auch Junkernheinrich, Micosatt 2005, 82). Sinkt beispielsweise die Auslastung von Kanalabschnitten in technisch bzw. wirtschaftlich kritische Bereiche, können aus technischer Sicht Anpassungen nur erfolgen, wenn entsprechende Optionen bestehen (z. B. Rückbau) und die Funktionalität des Gesamtnetzes gewahrt bleibt. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht lassen sich Kosten nur dann zurückführen, wenn mit der Anpassung auch Kostenreduktionsmöglichkeiten gegeben sind. Dies ist bei Kosten der Fall, die auslastungsabhängig entstehen. Für Kapitalkosten trifft dies nur dann zu, wenn die von der Anpassung betroffenen Anlageteile am Ende ihrer Nutzungsdauer angelangt sind. Dann entfallen z. B. mit dem Rückbau der Anlagen auch die Kapitalkosten. Wenn nicht, bleiben bestehende Kapitalkosten zunächst von der Anpassung unberührt. Auch eine Freisetzung des gebundenen Kapitals durch Verkauf der Anlagen entfällt, da es sich im Falle der zentralen Anlagenkomponenten in der Regel um nichtveräußerbare Güter handelt, die keiner alternativen Nutzung zugeführt werden können (auf diesen Umstand wird bei der Formulierung des Kostenmodells in Abschnitt 10.3.4 näher eingegangen). In rechtlicher Hinsicht sind in diesem Zusammenhang vor allem die geltenden wasserrechtlichen Vorgaben zu nennen, welche die Einhaltung hygienischer und umweltverträglicher Standards vorschreiben. Diese sind auch bei Auslastungsrückgang einzuhalten, was in diesem Falle sogar mit Kostensteigerungseffekten verbunden sein kann, z. B. wenn zusätzliche Spülungen der Kanäle erforderlich werden (s. Abschnitt 4.2). Die politisch administrative Umsetzbarkeit von Anpassungsmaßnahmen hängt insbesondere von sozialen Implikationen der Anpassung und von gesellschaftspolitischen Rahmenbedingungen ab.

In der Summe bewirken die bestehenden Anpassungsrestriktionen, dass bei Nachfragerückgang die Gesamtkosten nicht im selben Ausmaß reduziert werden können, wie sie beim Ausbau der Kapazitäten entstehen. Die Gesamtkostenkurve beschreitet beim Rückgang der Nachfrage und Kapazitätsreduktion einen abweichenden Verlauf auf höherem Niveau als bei wachsender Nachfrage und Kapazitätsausbau. Dieses Phänomen wird als Kostenremanenz bezeichnet (s. Junkernheinrich, Micosatt 2005, 82)

(Abbildung 4-5). Kostenremanenzen entstehen demnach durch mangelnde Anpassungsflexibilität von Systemen bei Nachfragerückgang. Je anpassungsfähiger die Systeme sind, umso näher liegt die Kostenrückführungskurve beim Kostenverlauf des Systemausbaus und umso geringer fallen Kostenremanenzen aus.

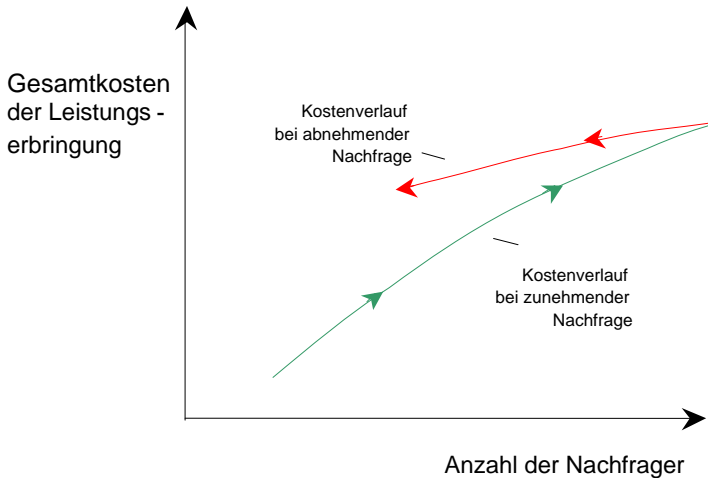


Abbildung 4-5: Effekt der Kostenremanenz (verändert nach Junkernheinrich, Micosatt 2005, 82)

### 4.3.3 Redundanzen

Die Abkopplung von Teilgebieten vom zentralen Netz der Abwasserentsorgung kann, wie bereits erwähnt, nur unter Beachtung der Funktionsfähigkeit des verbleibenden zentralen Netzes erfolgen. Sollen beispielsweise in integrierten Teilgebieten dezentrale Insellösungen realisiert werden, bleibt die Notwendigkeit des „Durchquerens“<sup>25</sup> der Gebiete mit Kanälen des zentralen Systems bestehen. Erfolgt in solchen Gebieten ein Ausbau dezentraler Strukturen, entstehen Redundanzen und damit zusätzliche Kosten, ohne dass diesen eine adäquate Kostenentlastung gegenübersteht, da zumindest die

<sup>25</sup> Ähnliche Phänomene werden unter Wachstumsbedingungen unter dem Begriff „by-passing“ diskutiert (Graham, Marvin 2001, 23). Dies beschreibt das Phänomen einer teilräumlichen Ausdifferenzierung von Versorgungsstandards, abhängig von der Attraktivität und Rentabilität einzelner Standorte. Eingängliche Beispiele hierfür liegen vor allem aus anderen netzgebundenen Infrastrukturbereichen vor, wie etwa Hochgeschwindigkeitsdatenverbindungen. Aber auch im Bereich Abwasser werden solche territorialen Uneinheitlichkeiten diskutiert. Die im Kontext von Schrumpfung auftretenden by-passing-Phänomene entstehen dagegen weniger durch bewusstes Handeln von Planern, wie im Ausdifferenzierungsprozess bei Wachstum der Fall, sondern vielmehr aus der unliebsamen Notwendigkeit des Durchquerens untergenutzter Gebiete. Die dabei ablaufenden Prozesse entziehen sich zunächst weitestgehend der Kontrolle des Infrastrukturmanagements (vgl. Moss 2008, 119).

Hauptstränge des vorhandenen Netzes weiter betrieben werden müssen. Kostenentlastungen für das Gesamtsystem können demnach nur dann realisiert werden, wenn innerhalb der abgekoppelten Gebiete auch die unrentablen Netzabschnitte weitestgehend abgekoppelt werden können und dies zu einer Kostenentlastung führt. Das Risiko der Entstehung redundanter Strukturen ist umso höher, je integrierter die Teilgebiete der Abkopplung in das Gesamtgebiet sind. Liegen sie an Randbereichen des zentralen Netzes, stehen die Chancen gut, dass nicht mehr benötigte Netzabschnitte ohne Beeinträchtigung des verbleibenden Netzes abgekoppelt werden können.

#### **4.3.4 Einnahmeffekte und finanzieller Handlungsspielraum**

Rückläufige Wasserverbrauchszahlen und sinkende Einwohnerzahlen bewirken einen Rückgang von Einnahmen aus Gebühren.

Anders als bei den Kosten ist bei Preis- bzw. Gebührenstrukturen der verbrauchsunabhängige Anteil vergleichsweise gering. Rothenberger (2003a, 11) benennt hierfür eine Größenordnung von 10 % bis 30 %. Ein Nachfragerückgang durch Verhaltensänderung entlastet den Kunden damit kurzfristig deutlich stärker als das Unternehmen und gefährdet somit die geforderte Kostendeckung. Mittelfristig können entsprechende Anpassungen der Gebühren erfolgen. Dies stößt bei steigendem Gebührenniveau zunehmend auf gesellschaftspolitischen Widerstand.

Der finanzielle Handlungsspielraum für anstehende Erneuerungs- oder denkbare Umbaumaßnahmen wird dadurch eingeschränkt. Verstärkt wird dies insbesondere im Osten Deutschlands durch bestehende Tilgungsverpflichtungen aus Investitionen zurückliegender Jahre, die hier aufgrund des erfolgten massiven Ausbaus der Abwasserinfrastrukturen vergleichsweise hoch sind (Moss 2008, 134). Verschärfend kommen rechtlich festgeschriebene Kreditrestriktionen hinzu, welche die Möglichkeiten, Kapitalengpässe durch Kreditaufnahme auszugleichen, deutlich beschneiden (Haug, Deilmann 2008, 324)<sup>26</sup>.

---

<sup>26</sup> So lässt sich aus § 82 I der SächsGemO (2007) ein Verbot der Verschuldung zum Zwecke der Kredittilgung ableiten (s. Haug, Deilmann 2008, 324).





## B Entwicklung des Bewertungsverfahrens

### 5 Untersuchungsgebiet

Die Untersuchungen und Entwicklung des Bewertungsverfahrens erfolgen am Beispiel eines realen Entsorgungsgebietes (s. hierzu Abschnitt 1.4.3). Unter Beachtung der in Abschnitt 1.4.3 dargelegten Kriterien wurde hierfür das Einzugsgebiet der zentralen Kläranlage Kamenz ausgewählt.

#### 5.1 Lage

Das Einzugsgebiet der zentralen Kläranlage Kamenz (ZKK) liegt im Entsorgungsgebiet Kamenz. Dieses liegt im Nordosten Sachsens in der westlichen Oberlausitz (Abbildung 5-1).



Abbildung 5-1: Lage des Untersuchungsgebietes innerhalb Sachsens (dargestellt sind Gemeindegrenzen im Land Sachsen)

Das Untersuchungsgebiet ist Teil des Verbandsgebietes des Abwasserzweckverbandes Obere Schwarze Elster, das sich aus den beiden Entsorgungsgebieten Kamenz und Pulsnitz bildet. Die beiden Entsorgungsgebiete bilden zwei getrennte Tarifgebiete sowie zwei funktional voneinander unabhängige Einheiten. Beide Gebiete verfügen über je eine zentrale Kläranlage (Abwasserzweckverband Obere Schwarze Elster 2005, 3). Das Einzugsgebiet der ZKK erstreckt sich über vier benachbarte Gemeinden des ehem. Landkreises Kamenz<sup>27</sup>, über das Gebiet der Städte Kamenz, Elstra sowie der Gemeinde

---

<sup>27</sup> Am 1. August 2008 wurde der ehem. Landkreis Kamenz im Zuge der Kreisgebietsreform in den Landkreis Bautzen eingegliedert.

Nebelschütz und über ein Teilgebiet der Gemeinde Schönteichen<sup>28</sup> (Abbildung 5-2). Die Gesamtfläche der betroffenen Gemeinde (Teil-)Gebiete beträgt ca. 114 km<sup>2</sup>. Das Gebiet erstreckt sich über eine Länge von ca. 18,5 km in Nord-Süd-Richtung und ca. 11 km in der Ost-West-Richtung.



Abbildung 5–2: Einzugsgebiet der zentralen Kläranlage

## 5.2 Struktur

In den vier Städten und Gemeinden, die ganz bzw. teilweise im Betrachtungsgebiet liegen, lebten 2005 ca. 25.000 Einwohner, über 70 % davon im Stadtgebiet Kamenz. Die Bevölkerungszahlen sind seit einigen Jahren rückläufig. Zwischen 1990 und 2005 verloren die Städte und Gemeinden insgesamt nahezu 7 % ihrer Einwohner, zwischen 2000 und 2005 lag der Bevölkerungsverlust bei 4 %. Am stärksten war die Stadt Kamenz vom Bevölkerungsrückgang betroffen (9,2 % seit 1990, 4,6 % zwischen 2000 und 2005). In der Stadt Elstra verlief die Entwicklung ähnlich, aber abgeschwächt. Die Gemeinden Nebelschütz und Schönteichen hatten zunächst steigende Einwohnerzahlen zu verzeichnen, zwischen 2000 und 2005 verlief dann auch hier die Entwicklung

<sup>28</sup> Im Tarifgebiet Kamenz liegt außerdem ein Ausschnitt der Gemeinde Strassgräbchen, das nördlich an das Einzugsgebiet der ZKK anschließt, das Abwasser aber in eine eigene Ortskläranlage entsorgt.

unter negativem Vorzeichen (s. Tabelle 5-1)<sup>29</sup> (Bevölkerungsstatistik des statistischen Landesamtes des Freistaates Sachsen).

In den kommenden Jahren wird der Bevölkerungsrückgang nach vorliegenden Vorausberechnungen weiter anhalten. Für das Gebiet des ehem. Landkreises Kamenz wie auch für die Stadt Kamenz weist die aktuelle Landesprognose einen Rückgang der Einwohnerzahlen in 15 Jahren (zwischen 2005 und 2020) in Höhe von 6 % bis 10 % aus (Statistisches Landesamt Sachsen o. A.).

Das Siedlungsgebiet im Einzugsgebiet der ZKK weist eine zentrale Struktur auf. Es wird dominiert vom Stadtgebiet des zentral gelegenen Mittelzentrums Kamenz, um das sich kleinere Ortslagen der Gemeinde Kamenz und der umliegenden Städte und Gemeinden Elstra, Nebelschütz und Schönteichen anordnen (Abbildung 5-2). Die Siedlungsdichte lag 2005 in den vier Gemeinden insgesamt bei 16 EW/ha. Der höchste Wert wird in Kamenz mit 20 EW/ha gemessen. In den Umlandgemeinden werden deutlich geringere Werte erreicht (Tabelle 5-1).

*Tabelle 5-1: Strukturdaten des Untersuchungsgebietes (Quelle: Bevölkerungsstatistik des statistischen Landesamtes des Freistaates Sachsen)*

| Gemeinden im Einzugsbereich der ZKK | Einwohner (31.12.1995) | Anschlussgrad | Einwohnerentwicklung 2000 bis 2005 | Siedlungsdichte (EW/ha S+V-Fläche) |
|-------------------------------------|------------------------|---------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Kamenz                              | 18.129                 | 80 % bis 90 % | -4,6 %                             | 20                                 |
| Elstra                              | 3.121                  | 60 % bis 80 % | -3,2 %                             | 14                                 |
| Nebelschütz                         | 1.251                  | 30 % bis 60 % | -2,3 %                             | 9                                  |
| Schönteichen <sup>30</sup>          | 2.381                  | 0 % bis 30 %  | -2,5 %                             | 10                                 |
| Gesamt                              | 24.882                 | 67 % bis 81 % | -4,1 %                             | 16                                 |

Der Standort der zentralen Kläranlage Kamenz (ZKK) liegt zentral, östlich des Stadtgebietes Kamenz. Innerhalb des Einzugsbereichs der ZKK sind ca. 67 % bis 81 % der Einwohner an die öffentliche Kanalisation angeschlossen<sup>31</sup>. Der höchste Anschlussgrad wird mit 80 % bis 90 % für das Stadtgebiet Kamenz angegeben, der geringste für die Gemeinde Schönteichen (0 % bis 30 %)<sup>32</sup>.

<sup>29</sup> Quelle: Bevölkerungsstatistik des Statistischen Landesamtes des Freistaates Sachsen.

<sup>30</sup> Gesamtes Gemeindegebiet

<sup>31</sup> Eigene Berechnungen auf Grundlage von Freistaat Sachsen (2007) (Angaben beziehen sich auf das erste Halbjahr 2006).

<sup>32</sup> Die Angaben für Schönteichen beziehen sich auf das Gesamtgemeindegebiet, nicht auf das Teilgebiet der Gemeinde, das zum Einzugsbereich der ZKK zählt (vgl. Abbildung 5-2). Hier ist von höheren Anschlussgraden auszugehen.

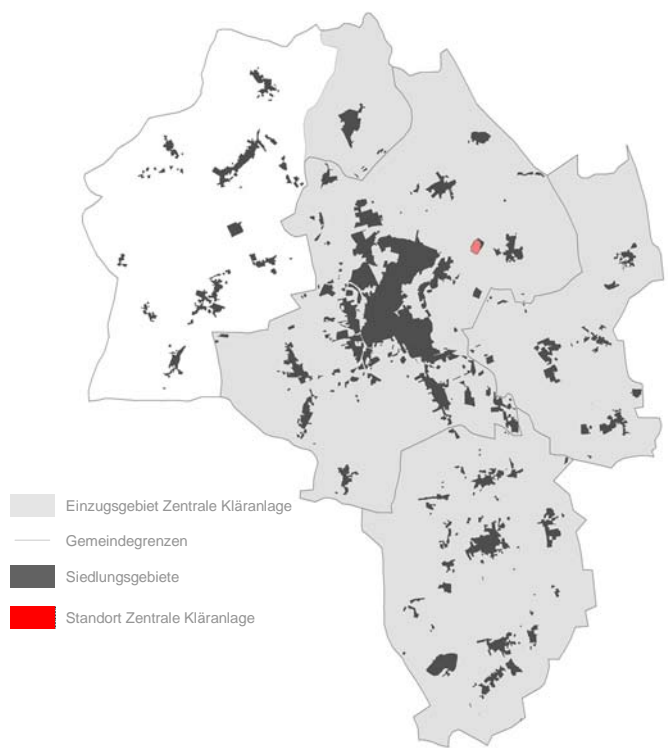


Abbildung 5-2: Siedlungsstruktur im Untersuchungsgebiet<sup>33</sup>

<sup>33</sup> Siedlungsflächen aus dem ATKIS Basis-DLM (Objektgruppe 2100 „baulich geprägte Fläche“).

## 6 Siedlungsmodell

### 6.1 Stadtstrukturtypenansatz

Daten, auf deren Grundlage wesentliche Nachfrageparameter wie Einwohnerzahl sowie Gebäude- und Wohnungsanzahl kleinräumig, d. h. unterhalb der Gemeindeebene, beschrieben werden, sind nicht Gegenstand verfügbarer amtlicher Statistiken. Aus diesem Mangel heraus hat sich in der Stadtforschung eine methodische Herangehensweise herausgebildet, die versucht, diese Lücke durch die Interpretation von Informationen aus topografischen Karten zu schließen. Der hier zugrunde gelegte Ansatz wird als Stadtstrukturtypenansatz bezeichnet. Grundhypothese dieses Verfahrens ist, dass in städtebaulich und gebäudetypologisch ähnlichen Teilgebieten einer Stadt auch spezifische Nutzungsausprägungen ähnlich sind (s. Duhme, Pauleit 1992, 17; Wickop 1999, 40 ff.). Dies basiert auf der Beobachtung, dass bestimmte Nutzungen charakteristische Spuren auf den Flächen hinterlassen. So weisen sozialökologische Untersuchungen auf Zusammenhänge zwischen Stadtstrukturtypen und deren soziodemografischen Ausprägungen hin (u. a. Kabisch et al. 1997; Wickop et al. 1998)<sup>34</sup>.

Die hierbei verwendeten Stadtstrukturtypen können beschrieben werden als zweckbestimmte, zu Typen zusammengefasste, räumliche Basiseinheiten im urbanen Raum, die sich aufgrund der Ähnlichkeit bestimmter Merkmale ergeben. Sie dienen der Übersichtlichkeit, der Informationsverdichtung und wirken damit komplexitätsreduzierend (Wickop 1999, 103). Ein wesentliches Merkmal von Stadtstrukturtypen betrifft die Forderung nach weitgehender Homogenität bezüglich der durch den Anwendungszweck definierten Merkmale. Die Gliederung und Abgrenzung der Stadtstrukturtypen hängt damit in erster Linie von der Zielstellung der Anwendung ab. Zentrale Merkmale, auf die nahezu alle Ansätze zurückgreifen, sind die Bebauungsstruktur, die durch die Art der Baukörper und deren räumliche Anordnung geprägt wird. Ergänzend können, abhängig vom jeweiligen Untersuchungszweck, freiflächenbezogene Kriterien hinzu kommen.

In der Stadtforschung haben stadtstrukturtypologische Untersuchungen bereits eine lange Tradition. Weit verbreitet sind Strukturtypenansätze in der stadtoökologischen Forschung (u. a. Pauleit 1998; Wickop et al. 1998; Werheit 2002). Strukturtypen setzen dabei die räumliche Kulisse für eine kleinräumig-differenzierte Formulierung von Qualitätszielen für städtische Quartiere. Betrachtet werden Eigenschaften der natürlichen Umwelt, wie die Bodenversiegelung und kleinklimatische Bedingungen, Nachfra-

---

<sup>34</sup> Diese können zwar von anderen Faktoren überlagert werden, wie z. B. der wirtschaftlichen Situation in der Stadt, der Bewohnerstruktur oder des Images eines Gebietes. Dennoch lassen sich strukturtypenspezifische Potenziale und hemmende Faktoren benennen, die unabhängig von der gesamtstädtischen Situation vorliegen und die kleinräumige Ausprägungen von Bevölkerungsverteilung und Bevölkerungsentwicklung mitbestimmen.

geparameter wie Energiebedarf oder Wasserverbrauch, aber auch soziale Aspekte, wie die Wohnraumversorgung und die Wohnumfeldqualität.

Beispiele der Verwendung des Stadtstrukturtypenansatzes liegen auch aus anderen Bereichen der Stadt- und Infrastrukturplanung vor. Ein viel beachtetes Beispiel aus dem Bereich der Energieversorgung sind die Ende der 1970er Jahre durchgeführten Untersuchungen von Roth et al. (1980). Sie betrachten Wechselwirkungen zwischen Siedlungsstrukturen und Wärmeversorgungssystemen entlang von neun Siedlungstypen, die im Wesentlichen durch das städtebauliche Erscheinungsbild (Bebauungsform und Bebauungsdichte) definiert sind. Die Autoren begründen damit u. a. siedlungstypenbezogene Grade an wirtschaftlichem Wärmeschutz in Abhängigkeit anliegender Wärmeversorgungssysteme. Auch in der Abfallwirtschaft kommt der Stadtstrukturtypenansatz zum Einsatz, z. B. bei Fragen der Sammlung von Siedlungsabfall. So diskutieren Bilitewski et al. (2005) unter Beachtung physischer und soziokultureller Ausprägungen von Stadtstrukturtypen unterschiedliche technische Lösungsvarianten zur Unterstützung einer verursachergerechten Abfallgebührengestaltung. Ein Beispiel aus dem Bereich kleinräumiger Wohnungsnachfrageprognosen liegt mit den Arbeiten von Iwanow und Eichhorn (2002) vor. Auch sie nutzen Erkenntnisse stadtstruktureller Analysen zur Unterscheidung von Nachfrageentwicklungen städtischer Teilräume. Sie knüpfen dabei an den oben erwähnten Zusammenhang zwischen physischer Stadtstruktur und soziodemografischen Ausprägungen an.

Seit Ende der 1990er Jahre kommen Stadtstrukturtypen zunehmend als Analyse- und Modellierungsansatz z. B. in stoffstromanalytischen Studien zum Einsatz. Ziel ist hierbei die Quantifizierung von Aufwendungen realer Gebäudebestände sowie der sie aufschließenden technischen Infrastruktur (u. a. Deilmann et al. 2001; Obernosterer et al. 1998; Buchert et al. 2004).

Deilmann u. a. (2001) analysieren im Rahmen empirischer Erhebungen die stofflichen Aufwendungen für Bauwerke von Wohngebietsausschnitten anhand von 10 Stadtstrukturtypen der Wohnbebauung (Abbildung 6-1). Neben der Bebauungsform und der Bebauungsdichte finden bei der Definition der Strukturtypen auch die Merkmale Gebäudealter, Gebäudegröße sowie konstruktive Gebäudemerkmale Berücksichtigung. Methodisch kommen dabei für Gebäude und Infrastrukturen unterschiedliche Vorgehensweisen zum Tragen. Während Gebäudemerkmale auf der Ebene von Straßengevierten (Baublöcke) erhoben werden, werden Infrastrukturerhebungen innerhalb möglichst großer, stadtstrukturell homogener, Gebietsausschnitte durchgeführt. Dadurch sollen vor allem Unsicherheiten der Zuordnung von Netzabschnitten zu den Gebiets-einheiten verringert werden, die an Randbereichen der abgegrenzten Strukturtypen-einheiten vermehrt auftreten.

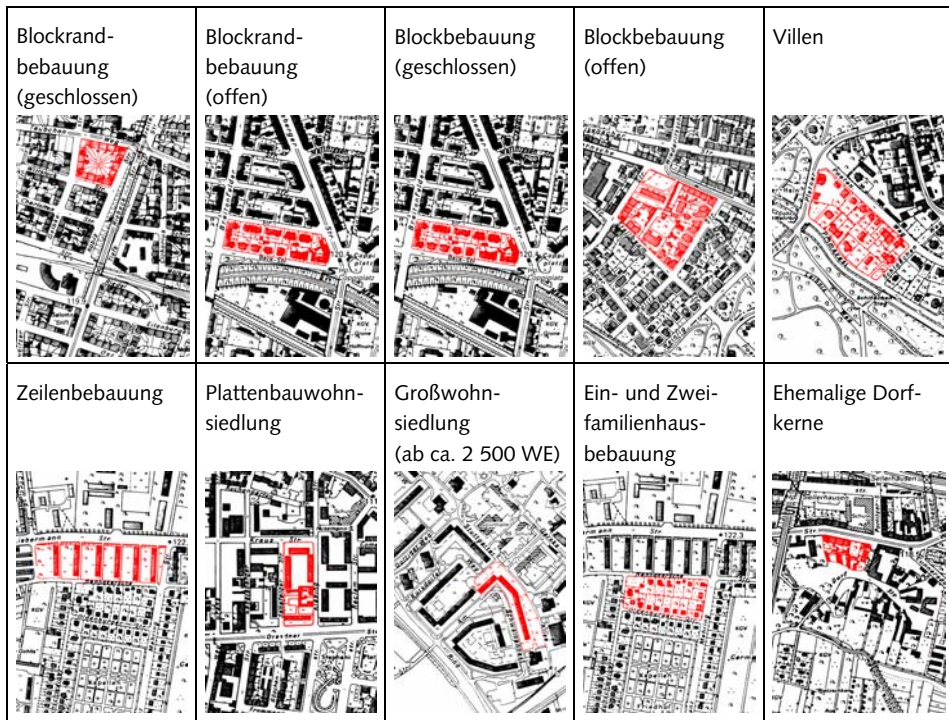


Abbildung 6-1: Stadtstrukturtypen zur Analyse von Bauwerken in Wohngebieten im Rahmen stofflich-energetischer Untersuchungen (verändert nach Deilmann et al. 2001)

Buchert et al. (2004) entwickeln aufbauend auf den Grundlagen von Deilmann et al. (2001) eine Methode zur Abschätzung stofflicher Aufwendungen der Wohngebieterschließung, unter Nutzung von Daten der amtlichen Gebäude- und Wohnungsstatistik. Hierbei werden in der Statistik vordefinierte Gebäudetypen unter Beachtung des Baualters und der Gebäudegröße einer Stadtstrukturtypologie zugeordnet, die für zurückliegende Epochen charakteristische Bauweisen abbildet<sup>35</sup>. Für diese Stadtstrukturtypen werden, basierend auf einer Querauswertung empirischer Studien, hypothetische Dichtekennziffern vergeben. Spezifische Erschließungsaufwendungen, die im Rahmen von Modellbetrachtungen ermittelt werden, werden unter Beachtung der zugewiesenen Dichtekennziffer auf die verwendeten Stadtstrukturtypen übertragen. Die Stadtstrukturtypen dienen also zur Einschätzung des Erschließungsaufwandes eines statistisch ausgewiesenen Gebäudebestandes über hypothetisch formulierte Zusammen-

<sup>35</sup> So kann im Mehrfamilienhausbau für Deutschland davon ausgegangen werden, dass die Gebäude vor dem ersten Weltkrieg überwiegend in Blockbauweise errichtet wurden. Seit den 20er Jahren dominierten offenere Bauweisen, bis Ende der 60er Jahre vor allem die Zeilenbebauung, danach halboffene Bauweisen. Seit Beginn der 90er Jahre ist eine Renaissance traditioneller Blockstrukturen zu beobachten (siehe hierzu auch BBR 2003). Dagegen ist der Bezug zwischen zeitlicher Epoche und Bebauungsform bei der Einfamilienhausbebauung weit weniger ausgeprägt.



hänge zwischen Baualter, Gebäudegröße, Bebauungsform, Bebauungsdichte und Erschließungsaufwand. Ein standörtlicher Raumbezug wird dabei allerdings nicht hergestellt. Raumbezüge werden lediglich indirekt über die Kenntnis der administrativen Zuordnung statistisch ausgewiesener Gebäudedaten hergestellt.

Im Rahmen der Entwicklung eines Bilanzierungsinstruments zur Infrastruktorkostenrechnung für die Regionalplanung verknüpfen Siedentop et al. (2006) den empirischen Raumbezug stadtstruktureller Ausprägungen von Infrastrukturaufwendungen, wie er von Deilmann et al. (2001) hergestellt wird, mit dem Bezug stadtstruktureller Erschließungsaufwendungen zu statistisch ausgewiesenen Sachdaten, wie er von Buchert et al. (2004) hergestellt wird. Sie formulieren daraus ein raumbezogenes Schätzmodell, um unter Beachtung der real vorliegenden Siedlungsstruktur Infrastrukturaufwendungen im Siedlungsbestand zu benennen. Innerhalb ausgewählter Gebiete führen sie empirische Erhebungen durch, um typische Leitungsaufwendungen für technische Infrastrukturen zu ermitteln. Dazu wählen sie, ebenfalls wie Deilmann et al. (2001), große zusammenhängende Gebiete aus, um das bereits oben erwähnte Randzuordnungsproblem einzugrenzen. Hieraus formulieren sie strukturtypische Kennzahlen, die sie auf zuvor kartierte Strukturtypeneinheiten anwenden. Neben dem physischen Erschließungsaufwand treffen sie Aussagen zur Auslastung der Kanäle. Auch hierbei verwenden sie die Strukturtypen, um mit Hilfe von Dichtekennziffern und gebäudetypologischen Belegungswerten eine Schätzung der kleinräumigen Wohnungs- und Einwohnerverteilung vorzunehmen.

Der Sprung zur großflächigen Anwendung des Strukturtypenansatzes auf Regionsebene<sup>36</sup> wird durch die Weiterentwicklung der Strukturtypenerhebungsmethodik unter Verwendung von Methoden der Geo-Informatik ermöglicht.

Grundsätzlich werden bei der Strukturtypenkartierung zwei Schritte durchlaufen. Im ersten Schritt erfolgt eine Abgrenzung kleinräumiger Siedlungseinheiten, die im zweiten Schritt der verwendeten Strukturtypologie zugeordnet werden. Während bei Dielmann et al. (2002) diese Schritte manuell und weitestgehend unter Nutzung analoger Karten erfolgen, wird von Siedentop et al. (2006) ein so genanntes „halbautomatisches“ Verfahren eingesetzt. Zur Abgrenzung der Strukturtypeneinheiten verwenden sie Daten des Amtlich-Topografisch-Kartografischen Informationssystems (ATKIS), die durch die Landesvermessung bereitgestellt werden. Diese nehmen u. a. eine Klassifikation von Siedlungsflächen nach Nutzungsarten vor. Die Abgrenzung einzelner Flächeneinheiten erfolgt im Siedlungskörper in der Regel entlang von Straßen und Wegen. Dadurch entstehen kleinräumige Raumeinheiten, die der kleinsten Raummaßstabsebene des verwendeten Strukturtypenansatzes, dem Baublock, entsprechen.

---

<sup>36</sup> Der Untersuchungsraum von Siedentop et al. (2006) umfasste 3 Landkreise mit 80 Gemeinden und 2 kreisfreien Städten.

Siedentop et al. (2006) überlagern nun im automatisierten Teil des von ihnen verwendeten Verfahrens Flächendaten aus topografischen Karten mit den beschriebenen ATKIS-Polygonen und ersetzen damit den Schritt der Blockabgrenzung, der in vorhergehenden Arbeiten aufwendig manuell erfolgte. Die Zuordnung der abgegrenzten Flächen zur verwendeten Stadtstrukturtypensystematik erfolgt im zweiten Schritt weiter manuell (deshalb „halbautomatisch“) unter Beachtung der aus der topografischen Karte visuell erkennbaren Physiognomie der Bebauung.

Einen weiteren Schritt in Richtung Automatisierung des Kartierungsverfahrens gehen Meinel et al. (2008a) mit der Entwicklung des Analysewerkzeuges „SEMENTA“. Hierbei wird nicht nur die Abgrenzung von Flächeneinheiten, sondern auch deren siedlungsstrukturelle Beschreibung automatisiert vorgenommen. Abweichend von den oben beschriebenen Verfahren, verwenden Meinel et al. (2008a) nicht den Baublock als Raumbaseinheit, sondern das Einzelgebäude bzw. Gebäudegrundflächen zusammenhängender Gebäudeverbünde. Die Grunddaten liefern rasterbasierte digitale topografische Karten 1:25 000 (DTK25-V)<sup>37</sup>. Hieraus werden die Gebäudegrundflächen unter Nutzung der genannten Software selektiert und in einem Vektordatensatz als Polygone dargestellt<sup>38</sup>.

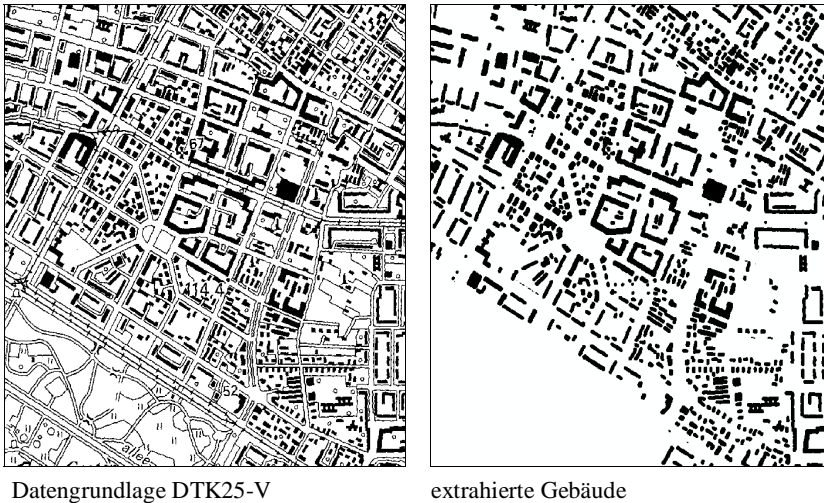


Abbildung 6-2: Automatische Gebäudedetektion und -vektorisierung (Quelle: Meinel et al. 2008a, 32)

<sup>37</sup> V steht für vorläufig oder alte Kartengrafik, in der Gebäudeflächen nicht als eigene Layer ausgegeben werden.

<sup>38</sup> Nach Angaben der Verfasser der genannten Studie wird diese Extraktion in „weiterer Zukunft“ nicht mehr erforderlich sein, denn in der zukünftigen Version der Kartengrafik (DTK25) werden die Gebäudelayer in einem separaten Layer gespeichert (s. Meinel et al 2008a, 2).

Die selektierten Gebäudegrundflächen werden im zweiten Schritt vermessen und unter Beachtung von Kennwerten, die Aussagen zu Größe, Form und Nachbarschaftsbeziehung der Flächen treffen, einer Gebäudetypologie zugeordnet. Die hierbei verwendete Gebäudetypologie ist so konzipiert, dass sie möglichst breit anwendbar und zur Beschreibung von Siedlungsgebieten im gesamten Bundesgebiet einsetzbar ist. Sie ist hierarchisch aufgebaut. Unterschieden werden zwei Mehrfamilienhausgrundtypen (Blockstruktur und offene Bebauung), ein Grundtyp der Ein- und Zweifamilienhausbebauung und ein Grundtyp der Nichtwohnnutzung. Diese werden in zwei weiteren Stufen spezifiziert<sup>39</sup> (Tabelle 6-1).

Tabelle 6-1: Verwendete Gebäudetypologie von Meinel et al. (2008a) (verändert nach Meinel et al. 2008a: 16)

| Level 1 |                                      | Level 2 |          |   |
|---------|--------------------------------------|---------|----------|---|
| Code    | Bezeichnung                          | Code    | Kurzbez. | Bezeichnung   |
| G1      | MFH in Blockstruktur                 | G11     | MFH-G    | Mehrfamilienhaus traditionell in geschlossener Bauweise   |
|         |                                      | G12     | MFH-F    | Mehrfamilienhaus (traditionell o. neu) freistehend  |
| G2      | MFH in offener Baustruktur           | G21     | MFH-TZ   | Mehrfamilienhaus traditionell in Zeile  |
|         |                                      | G22     | MFH-IZ   | Mehrfamilienhaus industriell in Zeile   |
| G3      | Ein-, Zweifamilien- und Reihenhäuser | G31     | EZFH     | Ein- und Zweifamilienhaus   |
|         |                                      | G32     | RH       | Reihenhaus  |
|         |                                      | G33     | DH       | Dörflich traditionelles Haus  |
| G4      | Nichtwohnnutzung                     | G41     | IG       | Industrie/Gewerbe   |
|         |                                      | G42     | BFP      | ATKIS-Objektart „Besondere funktionale Prägung“ (Verwaltung, Gesundheit/Soziales, Bildung/Forschung, Kultur usw.) |

Basierend auf umfassenden empirischen Erhebungen in zwei „Referenzstädten“<sup>40</sup> formulieren Meinel et al. (2008a) grundflächenbezogene Dichtekennziffern für die Merkmale Wohnungen und Einwohner. Diese werden als Wohnungsgrundflächendichte (WGD) (Wohnungsanzahl je m<sup>2</sup> Gebäudegrundfläche) bzw. Einwohnergrundflächendichte (EGD) (Einwohner je m<sup>2</sup> Gebäudegrundfläche) bezeichnet (Tabelle 6–2).

<sup>39</sup> Die ersten zwei Hierarchiestufen sind im automatisierten Erkennungsverfahren implementiert, die dritte Stufe gibt darüber hinaus Auskunft über mögliche Ausprägungen innerhalb der implementierten Typen. Tabelle 6-1 zeigt die Typenspezifizierung der ersten beiden Hierarchiestufen.

<sup>40</sup> Als Referenzstädte zur Entwicklung des Verfahrens dienten die Städte Dresden und Bonn. Zwar beinhaltet die Gebäude- und Stadtstrukturtypologie des Verfahrens städtische und ländliche Typen. Durch den großstädtischen Entwicklungshintergrund ist die hier verwendete Version des Verfahrens jedoch nur in entsprechenden städtischen Gebieten erprobt. Bei der Anwendung in ländlichen Siedlungsstrukturen ist dies zu beachten.

Tabelle 6-2: In SEMENTA implementierte Standardparameter für WGD und EGD für die verwendeten Wohngebäudetypen (verändert nach Meinel et al. 2008a, 40)

| Gebäudetyp |        | Wohnungsgrundflächendichte<br>(WGD) (Wo/m <sup>2</sup> ) | Einwohnergrundflächendichte<br>EGD (EW/m <sup>2</sup> ) |
|------------|--------|--|---|
| G11        | MFH-G  | 0,038  | 0,060   |
| G12        | MFH-F  | 0,032  | 0,057   |
| G21        | MFH-TZ | 0,041  | 0,069   |
| G22        | MFH-IZ | 0,077  | 0,122   |
| G23        | MFH-HH | 0,684  | 0,842   |
| G31        | EZFH   | 0,012  | 0,029   |
| G32        | RH     | 0,019  | 0,043   |
| G33        | DH     | 0,010  | 0,025   |

Auf dieser Grundlage sind Schätzungen kleinräumiger Ausprägungen der verwendeten Parameter möglich. Da die Basisraumeinheit, wie oben beschrieben, das Gebäude bzw. der Gebäudeverbund ist, bietet dieses Verfahren größere Freiheitsgrade in der Abgrenzung kleinräumiger Gebietseinheiten als die Ansätze, die bereits mit vordefinierten Strukturtypeneinheiten arbeiten. So können Aussagen auf Gebäude oder Baublockebene generiert werden. Für letzteres ist in der bereits genannten Anwendersoftware SEMENTA die Bildung von Strukturtypeneinheiten unter Nutzung von ATKIS-Geometrien implementiert. Möglich sind aber auch Verschneidungen der an den Gebäudegrundflächen verorteten Parameter mit anderen Geometrien, die sich aus anderen Sachzusammenhängen ergeben können.

Diese hohe Flexibilität ist das Hauptargument für die Verwendung dieses Ansatzes bei der nachfolgenden Entwicklung des Siedlungsmodells. Mit Vorliegen der Prototypenversion von SEMENTA wird darüber hinaus die Umsetzung des Ansatzes auf der hier zugrunde liegenden Raummaßstabsebene möglich. Nachfolgende Analyseschritte bauen deshalb auf einer Strukturtypenkartierung unter Anwendung von SEMENTA auf.

## 6.2 Strukturtypenkartierung

### 6.2.1 Ausgangsdaten

Digitale topografische Karten 1:25.000 liegen für das gesamte Bundesgebiet in Form von ca. 3.000 digitalen Kartenblättern vor und werden vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) angeboten. Die Kartenblätter decken ein Gebiet von jeweils ca. 125 km<sup>2</sup> ab. Die Aktualität der vorliegenden Datenblätter differiert stark zwischen den Bundesländern. Sie spannt sich über einen Zeitraum von 1988/89 (einzelne Blätter in Hessen) bis 2006 (u. a. größere Ausschnitte von Bayern, Baden-Württemberg, NRW und Schleswig-Holstein). Auch qualitativ unterscheiden sich die Daten. Relevant für das verwendete Siedlungsmustererkennungsverfahren sind dabei insbesondere die

Qualität der Rasterdaten sowie der Art der Gebäudedarstellung. Eine gute Qualität ist gegeben, wenn Objektkanten einen bei Rasterdaten typischen Treppenverlauf aufweisen, eine schlechte Qualität, wenn benachbarte Einzelgebäude ineinander verschmelzen. Hinsichtlich der Darstellungsart der Gebäude verläuft die Bandbreite von Einzgebäudedarstellung bis zur zusammengefassten generalisierten Darstellung ganzer Baublöcke mittels Schraffur (s. Meinel et al. 2008b).

Die für die vorliegende Untersuchung herangezogenen Blätter weisen eine mittlere Aktualität auf (1996/97) (Abbildung 6-3). Auch die Darstellungsqualität kann nach Meinel et al. (2008b) als mittel eingestuft werden. Die Objektkanten weisen keinen für Rasterdaten idealtypischen Treppenverlauf auf, sondern verlaufen unregelmäßig. Bau-lich getrennte Gebäudeblöcke werden aber dennoch als Einzelgebäude dargestellt.

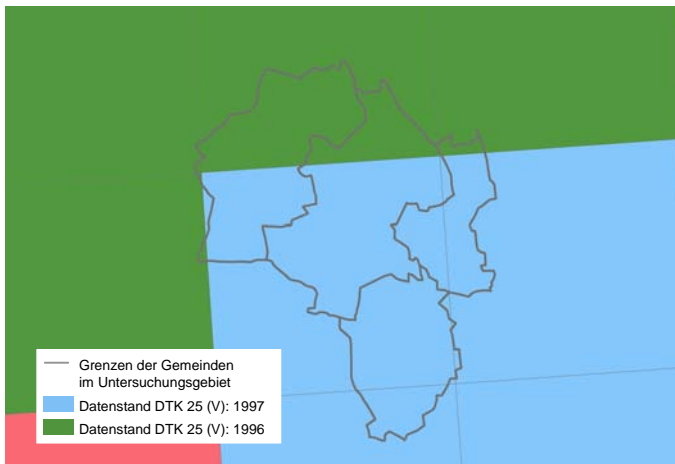


Abbildung 6-3: Aktualität der verwendeten DTK25(V) – Kartenausschnitte

## 6.2.2 Automatische Gebäudeextraktion und Attributierung

Das beschriebene Kartenmaterial wurde unter Verwendung von SEMENTA einem Analysedurchlauf unterzogen. Dabei wurden, wie oben bereits beschrieben, die rasterbasierten Gebäudeflächen der DTK25-V selektiert, vektorisiert, vermessen und unter Beachtung von Größe, Form und Nachbarschaftsbeziehung der in Tabelle 6-1 aufgeführten Gebäudetypologie zugeordnet (das Verfahren der Gebäudeextraktion und Attributierung ist ausführlich in Meinel et al. 2008a; 31 ff. dokumentiert). Dabei wurden im gesamten Untersuchungsgebiet 5.880 Gebäude bzw. Gebäudeverbünde mit einer Gesamtgebäudegrundfläche von ca. 243 ha extrahiert und als Polygone angelegt.

Eine erste augenscheinliche Überprüfung der Ergebnisse der vorgenommenen Gebäudeextraktion und -attributierung zeigten deutliche Fehlattributierungen und zum Teil auch Fehlextraktionen auf.

Die größten Schwierigkeiten traten bei der Attributierung der Gebäude in dörflich geprägten Ortslagen auf, welche vergleichsweise große Grundflächen aufweisen. Dabei treten sowohl länglich zeilenartige Formen (z. B. längere Stallungen, Scheunen oder Wohnstallhäuser) als auch massivere blockartige Gebilde (z. B. Dreiseithöfe) auf. Bei der Interpretation dieser Formen stößt die verwendete Version des Analyseprogrammes deutlich an Grenzen. Häufig werden dörflich traditionelle Strukturen als urbane Mehrfamilienhausbebauung interpretiert, je nach Grundrissform als Zeilen- oder Blockbebauung, zum Teil auch als gewerbliche Bebauung. Quantitativ deutlich weniger bedeutsam war das Auftreten von Fehlzuordnungen gereihter Einfamilienhäuser in die Kategorie der Mehrfamilienhaus-Zeilenbebauung. Vereinzelt traten auch Fehlinterpretationen von Linienelementen auf, wie z. B. Bahndammabschnitte und linienartige Symbole, die als Mehrfamilienhaus-Zeilen interpretiert wurden. Dagegen war die Attributierung in städtisch geprägten Strukturen des Hauptortes deutlich plausibler.

Aufgrund dieser Unzulänglichkeiten wurde das gesamte Gebiet im „manuellen“ Verfahren nachattribuiert und vereinzelt auftretende Fehler in der Gebäudeextraktion korrigiert.

### 6.2.3 Fehlerkorrektur durch manuelle Nachkartierung

Im Rahmen einer Gebietsbegehung wurden zuvor als unplausibel erkannte Gebietsabschnitte beispielhaft mit der Realität verglichen. Zusätzlich wurden Luftbilder herangezogen und mit den zweidimensionalen Flächen des DTK25-V verglichen. Hierbei konnten die ohnehin nahe liegenden Fehlerhypothesen verifiziert und entsprechende Korrekturen vorgenommen werden. Als sehr schwierig erwiesen sich dabei folgende Punkte:

- Kleinere Mehrfamilienhäuser können im Umfeld dörflich traditioneller Bebauung nur sehr schwer unterschieden werden.
- Innerhalb der dörflich traditionellen Bebauung gelingt es nur in wenigen eindeutigen Fällen, Funktionsgebäude von Wohngebäuden zu unterscheiden.

Aus diesem Grunde wurde in den dörflichen Ortslagen überwiegend der Typ „dörflich traditionell“ vergeben. Abgewichen wird hiervon nur bei eindeutigen Fällen. Dem wird bei der Formulierung der Nachfrageparameter entsprechend Rechnung getragen (s. Abschnitt 6.3.1.2).

Abbildung 6-4 stellt Ergebnisse der vorgenommenen Extraktions- und Attributierungsschritte an zwei Beispielgebietsausschnitten dar. Deutlich wird die intensiv erforderliche Korrektur der Fehlzuordnungen in dörflichen Ortslagen. Obgleich Abweichungen vom vorherrschenden Gebäudetyp „dörflich traditionell“ (s. Tabelle 6-1) in der Realität die Ausnahme bilden, werden im automatisierten Durchgang durchweg abweichende Gebäudetypen vergeben. Bei der Überarbeitung wurde dies entsprechend korrigiert und großflächig der Typ „dörflich traditionell“ vergeben. Ab-

gewichen wird hiervon nur in eindeutigen Fällen. Im vorliegenden Beispiel betrifft dies Funktionsgebäude, die aufgrund ihrer solitären Lage und einer im Luftbild zu erkennenden funktionsgebäudetypischen Erschließung (hier: größere Rangierflächen für Nutzfahrzeuge vor den Gebäuden) als solche zu erkennen sind.

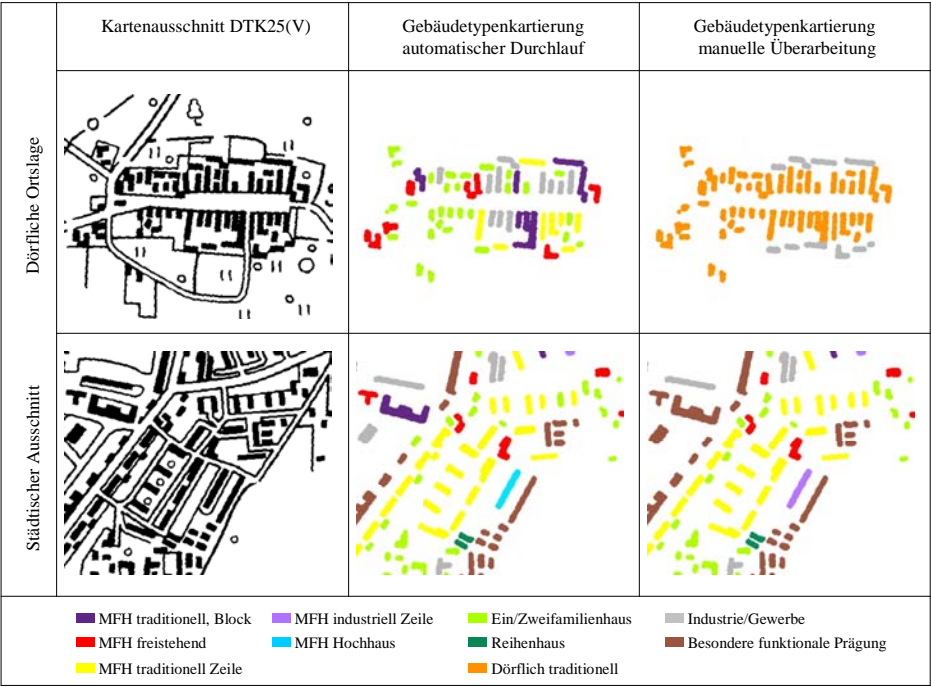


Abbildung 6-4: Ergebnisse der automatischen Gebäudeextraktion und -attributierung sowie der manuellen Nachkartierung am Beispiel eines dörflichen und eines städtischen Gebietsausschnittes

Im städtischen Beispielausschnitt beziehen sich die Korrekturen lediglich auf einzelne Gebäude, bei denen Unplausibilitäten im Zuge der augenscheinlichen Prüfung deutlich zu erkennen sind. Im dargestellten Beispiel betrifft dies eine fälschliche Zuordnung einer MFH-Zeile (industriell) zur Kategorie „Hochhaus“ (in der Mitte des Bildausschnittes). Dieser Typ kommt real im gesamten Stadtgebiet nicht vor und ist somit als Fehler leicht zu erkennen. Ein weiteres Beispiel betrifft eine unplausible Zuordnung eines Einzelgebäudes, dessen Grundrissform augenscheinlich sehr große Ähnlichkeiten mit der umliegenden Bebauung aufweist, das sich darüber hinaus homogen in die vorhandene Bebauungsstruktur eingliedert, aber im automatisierten Verfahren einem anderen Typ zugeordnet wurde (die Anreihung der Zeilen, senkrecht zum Straßenverlauf im oberen Drittel des Bildausschnittes). Fehler wie diese können mit geschultem Blick vergleichsweise leicht erkannt und korrigiert werden. Insgesamt stellen in städtischen

Strukturen des Untersuchungsgebietes Fehlzuordnungen, die eine Korrektur erforderten, die Ausnahme dar.

Abbildung 6-5 zeigt das Endergebnis der Gebäudetypenkartierung am Beispiel eines größeren Gebietsausschnittes des Untersuchungsgebietes. Hieraus wird zum einen die Kleinteiligkeit des Siedlungsmodells ersichtlich. Weiter zeigt der Ausschnitt an der farblichen Unterscheidung der Gebäudetypen die deutlich höhere Heterogenität des Gebäudebestandes innerhalb der städtischen Strukturen gegenüber dem vergleichsweise homogenen Bestand in den dörflichen Ortslagen, wo der dörflich-traditionelle Haustyp dominiert.

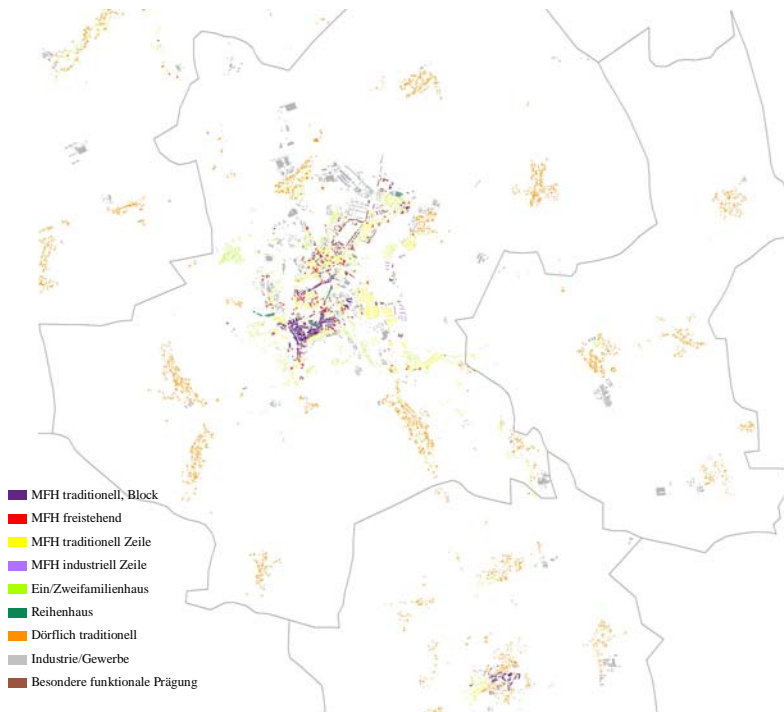


Abbildung 6-5: Ergebnis der Gebäudetypenkartierung am Beispiel eines größeren Gebietsausschnittes des Untersuchungsgebietes (Hauptort und angrenzende dörfliche Ortslagen)

### 6.3 Nachfrageparameter

Mit der Strukturtypenkartierung liegt für das Untersuchungsgebiet eine Beschreibung der räumlichen Verteilung von Gebäuden bzw. Gebäudeverbünden bzw. deren Grundflächen, einschließlich deren gebäudetypologischen Zuordnung vor. Damit ist jedoch noch nicht ausreichend spezifiziert, wie intensiv diese Flächen genutzt werden. Zur Einwohnerzahl und zur Wohnungsanzahl, die sich in der dritten Raumdimension über den Flächen befinden, können bislang nur unzureichend Aussagen getroffen werden.



Auch zum Merkmal Gebäudeanzahl sind nur eingeschränkt Aussagen in der kleinräumigen Verteilung möglich. Zwar kann mit der Kartierung der Gebäudegrundflächen hier eine erste Einschätzung erfolgen. Die abgegrenzten Gebäudegrundflächen können sich aber im Falle angebauter Gebäude über mehrere angebaute Gebäude erstrecken, was in den vorangegangenen Ausführungen mit dem Terminus „Gebäudeverbund“ beschrieben ist. Eine Anschlussfähigkeit an die in der Gebäude- und Wohnungsstatistik verwendete begriffliche Abgrenzung von Gebäude (s. Abschnitt 6.3.3), die in diesem Verfahren angestrebt wird, ist damit noch nicht gegeben.

Das verwendete Siedlungsmustererkennungsverfahren SEMENTA bietet, wie oben beschrieben, die Möglichkeit, über grundflächenbezogene Dichtekennziffern die Wohnungs- und Einwohnerzahl je typisierter Grundfläche zu schätzen. Bei den hierbei verwendeten Dichtekennziffern der Wohnungsgrundflächendichte (WGD)<sup>41</sup> und Einwohnergrundflächendichte (EGD)<sup>42</sup> (s. Abschnitt 6.1) handelt es sich um bislang nicht eingeführte Planungskennziffern. Anders als bei baublockbezogenen Dichtekennziffern fehlt es hier an empirischem Wissen und an Erfahrungswerten, um Dichtekennziffern hypothetisch schätzen zu können. Meinel et al. (2008a) gehen deshalb den Weg, über empirische Analysen Werte für die verwendeten Dichtekennziffern zu generieren. Dieses Vorgehen birgt das Problem, dass es eine besondere Datenverfügbarkeit voraussetzt. Hierin liegt vor allem der Grund, dass die Formulierung der Referenzwerte nur auf Daten zweier Städte zurückgreift. Beide ausgewählten Referenzstädte weisen eine ähnliche großstädtische Siedlungsstruktur auf (s. Fußnote 40). Dies birgt Probleme hinsichtlich der Übertragbarkeit. Nachfolgend beschriebener Zusammenhang verdeutlicht dies. Vom Einfluss unterschiedlicher Wohnungsgrößen einmal abgesehen, kann vermutet werden, dass die Wohnungszahl eines Gebäudes mit ähnlicher Grundfläche mit steigender Geschosszahl näherungsweise linear ansteigt. Bei abweichenden Geschosszahlen der Gebäudetypen, wie sie beispielsweise in kleineren Gemeinden bzw. ländlicher strukturierten Gebieten vorzufinden sind, kann es bei der Verwendung der angebotenen großstadtbezogenen Dichtekennziffern zu deutlichen Fehleinschätzungen kommen. Hierauf weisen Meinel et al. 2008a; 60 bereits hin und verweisen auf die Notwendigkeit der Regionalisierung der Referenzwerte. Als möglicher Ansatzpunkt werden hierbei die in SEMENTA ebenfalls aufgeführten Referenzwerte der gebäudetypenspezifischen Geschosszahl benannt. Eine Regionalisierung von Dichtekennziffern über einen Indikator, der die physische Ausprägung von Gebäudetypen näher spezifiziert, wie die vorgeschlagene Geschosszahl, lässt sich für gebäudestrukturell bedingte Dichtekennziffern, wie die Wohnungsgrundflächendichte (WGD), begründen (s. Abschnitt 6.3.1). Bei der Einwohnergrundflächendichte (EGD) würde dieses Regionalisierungsmodell methodische Probleme aufwerfen. Die Referenzwerte der

---

<sup>41</sup> Wohnungsgrundflächendichte (WGD) = Anzahl der Wohnungen/m<sup>2</sup> Gebäudegrundfläche

<sup>42</sup> Einwohnergrundflächendichte (EGD) = Anzahl der Einwohner/m<sup>2</sup> Gebäudegrundfläche

Einwohnergrundflächendichte, die empirisch in den Referenzstädten gebildet wurden, implizieren neben lokalen physischen Besonderheiten der Bebauung die jeweils spezifische lokale Belegungs- und Leerstandssituation der Referenzgebiete. Diese werden in hohem Maße von sozioökonomischen Faktoren mitbestimmt, deren Ausprägungen in anderen Standorten mit ähnlicher baulicher Struktur stark abweichen können (s. hierzu auch BBR 2004; 72 f.). Hier ist deshalb eine Vorgehensweise zu wählen, die von der sozioökonomischen Gebietskulisse der Referenzstädte abstrahiert.

Unter Beachtung dieser Zusammenhänge wird ein zweistufiges Verfahren zur Entwicklung regionsspezifischer Nachfrageparameter entwickelt, die die Berechnung der Einwohner- und Gebäudebelegung der kartierten Gebäude ermöglichen. Ausgangspunkt des entwickelten Verfahrens sind die Referenzwerte der Dichtekennziffer Wohnungsgrundflächendichte (WGD), die vom verwendeten Analysetool SEMENTA vorgehalten werden. Diese werden unter Beachtung der spezifischen gebäudestrukturellen Situation im Untersuchungsgebiet regionalisiert. Beachtung finden hierbei der Einfluss der Geschoszahl sowie weitere Besonderheiten ländlich geprägter Siedlungsstrukturen, die sich insbesondere im Anteil Nichtwohnnutzung im Gebäudebestand niederschlagen. Auf dieser Grundlage erfolgt die Abbildung der Wohnungsverteilung im kartierten Gebäudebestand. Die Projektion der Einwohnerzahl auf den so abgebildeten Gebäudebestand erfolgt unter Verwendung plausibler Belegungsparameter, ohne dass auf dieser Ebene erneut der Bezug zum Referenzwert der Einwohnergrundflächendichte (EWG) des Analysetools hergestellt wird. Zentrale Modellgrößen stellen hier Annahmen zum Wohnungsleerstand und zur Belegung bewohnter Wohnungen dar (Wohnungsbelegung). Auch die Abbildung der Gebäudeverteilung (nach dem Begriffsverständnis der Gebäude- und Wohnungsstatistik) erfolgt ausgehend von der abgebildeten Wohnungsverteilung aus Schritt 1 des Verfahrens. Dies erfolgt unter Verwendung plausibler Annahmen zur Gebäudegröße der betrachteten Gebäudetypen (Wohnungsanzahl je Gebäude), die unter Beachtung typischer Erschließungsstrukturen innerhalb der unterschiedenen Gebäudetypen (Spannerzahl, s. hierzu Abschnitt 6.3.3.1) sowie regionalisierter Geschoszahlen getroffen werden. Insgesamt ergibt sich dadurch ein konsistentes Gerüst regionalisierter Nachfrageparameter.

Bei der Ausgestaltung dieses Verfahrens kann auf Vorarbeiten und Erfahrungen bereits zitierter Studien zurückgegriffen werden. Zu nennen wären in diesem Zusammenhang vor allem die Arbeiten von Siedentop et al. (2006), die bei ihrem Modellansatz ähnliche Aufgaben zu bewältigen hatten. Auch die dort verwendete Methodik beruht darauf, ausgehend von strukturtypischen Dichtekennziffern, die auf Grundlage empirischen Wissens sowie literaturgestütztem Erfahrungswissen generiert werden, in einer logischen Abfolge von Schätzschritten strukturtypische Belegungsparameter für die typisierten Flächen zu ermitteln. Entlang der Schätzschritte werden städtebauliche Kenngrößen, deren Ausprägungen entsprechend verfügbarer Angaben der amtlichen Statistik sowie ergänzender Orientierungswerte aus der Städtebauliteratur beschrieben



### 6.3.1 Abbildung der kleinräumigen Wohnungsverteilung

Bei der Anwendung von SEMENTA in der vorliegenden Version wird die Wohnungsanzahl je Gebäude (WZ) aus der Gebäudegrundfläche (GGRF) multipliziert mit dem Referenzwert für Wohnungsgrundflächendichte (WGD) berechnet (Formel 6-1).

*Formel 6-1: Wohnungsanzahl je Gebäude (WZ), errechnet aus Gebäudegrundfläche (GGRF) und Wohnungsgrundflächendichte (WGD)*

$$WZ = GGRF * WGD$$

In der Größe WGD stecken implizit die Größen Geschosszahl (GZ) und mittlere Wohnungsgröße bzw. die Wohnfläche je Wohnung ( $WF_{spez.}$ ) (s. Formel 6-2 bis Formel 6-6).

Wird die Gebäudegrundfläche mit der Geschosszahl (GZ) multipliziert, kann hieraus überschlägig die Geschossfläche je Gebäude (GF)<sup>43</sup> berechnet werden (Formel 6-2).

*Formel 6-2: Geschossfläche je Gebäude (GF)*

$$GF = GGRF * GZ$$

Die GF kann über einen Faktor ( $F_{GF}$ )<sup>44</sup> in Wohnfläche (WF) umgerechnet werden. Die Gesamtwohnfläche je Gebäude errechnet sich demnach nach Formel 6-3.

*Formel 6-3: Wohnfläche je Gebäude (WF)*

$$WF = GF * F_{GF}$$

Wird die Wohnfläche je Gebäude (WF) durch die mittlere Wohnungsgröße im Gebäude ( $WF_{spez.}$ ) dividiert, ergibt sich hieraus die Wohnungsanzahl je Gebäude (WZ) (Formel 6-4).

*Formel 6-4: Wohnungsanzahl je Gebäude (WZ), errechnet aus Wohnfläche je Gebäude (WF) und mittlere Wohnungsgröße ( $WF_{spez.}$ )*

$$WZ = WF / WF_{spez.}$$

Unter Beachtung dieser Zusammenhänge kann die in Formel 6-4 genannte Beziehung wie folgt ausgedrückt werden (Formel 6-5).

*Formel 6-5: Wohnungsanzahl je Gebäude (WZ), errechnet aus Gebäudegrundflächendichte (GGRF), Geschosszahl (GZ), mittlere Wohnungsgröße ( $WF_{spez.}$ ) und Faktor  $F_{GF}$*

$$WZ = GGRF * GZ * F_{GF} / WF_{spez.}$$

<sup>43</sup> Die Geschossfläche (Abkürzung: GF) ist ein Begriff aus dem Bau- und Planungsrecht und wird definiert durch § 20 Abs. 3 Baunutzungsverordnung. Sie wird nach den Außenmaßen des Gebäudes in allen Vollgeschossen (s. Abschnitt 6.3.1.1) ermittelt.

<sup>44</sup> Korda (1999, 117) gibt das Verhältnis von Geschossfläche zu Wohnfläche im Mittel mit 1,25 an. Hieraus ergibt sich ein Wert von 0,8 für den Faktor  $F_{GF}$ . Hierin sind die Flächenanteile des aufgehenden Mauerwerks sowie sonstige zur Geschossfläche, jedoch nicht zur Wohnfläche zählenden Flächenanteile berücksichtigt.

Die Wohnungsgrundflächendichte (WGD) kann demnach mit den drei Größen Geschosszahl (GZ), Wohnungsgröße ( $WF_{spez.}$ ) und dem Faktor ( $F_{GF}$ ) ausgedrückt werden.

*Formel 6-6: Bezug zwischen Wohnungsgrundflächendichte (WGD), Geschosszahl (GZ) und mittlerer Wohnungsgröße ( $WF_{spez.}$ )*

$$WGD = GZ * F_{GF} / WF_{spez.}$$

Weichen die Größen Geschosszahl und mittlere Wohnungsgröße der verwendeten Gebäudetypen im Untersuchungsgebiet von den entsprechenden Ausprägungen in den Referenzstädten ab, auf die sich die Referenzdichtekennziffern der WGD beziehen, kommt es bei der Anwendung der Referenzdichtewerte im Untersuchungsgebiet zu Fehleinschätzungen. Umgekehrt bieten die beiden Größen Geschosszahl und Wohnungsgröße mögliche Ansatzpunkte zur Regionalisierung der Referenzdichtekennziffern. Inwieweit sich die Größen als Ansatzpunkt zur Regionalisierung der Dichtekennziffern eignen, hängt insbesondere davon ab, wie stark Geschosszahl und Wohnungsgröße innerhalb ähnlicher Gebäudebestände regionsabhängig variieren. Dies soll unter Beachtung entsprechender Ausprägungen der Merkmale bezogen auf unterschiedliche Gebietseinheiten im Folgenden erörtert werden.

Abbildung 6-7 zeigt Ausprägungen der mittleren Geschosszahl sowie der mittleren Wohnungsgröße in nach Gebäudegröße und Baualter unterschiedenen Beständen mit unterschiedlichen Raumbezügen. Gegenübergestellt werden entsprechende Ausprägungen, bezogen auf den Wohngebäudebestand des Landes Sachsen, bezogen auf den Wohnungsbestand der Stadt Dresden, die eine der beiden Referenzstädte des Analysetools SEMENTA darstellt, und bezogen auf den Wohngebäudebestand der Gemeinden des hier betrachteten Untersuchungsgebietes bzw. des ehem. Landkreises Kamenz, innerhalb dessen das Untersuchungsgebiet liegt<sup>45</sup>. Dargestellt sind indizierte Werte innerhalb der nach Baualter und Gebäudegröße eingeteilten Teilbestände, bezogen auf die jeweiligen Landeswerte.

Die obere Grafik, die sich auf das Merkmal Geschosszahl bezieht, zeigt, dass die Ausprägungen der Geschosszahl innerhalb der gebildeten Gebäudegruppen regional deutlich variieren. Die Werte für die Stadt Dresden sowie die im Untersuchungsgebiet gemessenen Werte weichen deutlich von den Werten für das Land Sachsen ab. Erwartungsgemäß übersteigen die Geschosszahlen des urbanen Gebäudebestandes die Landesmittelwerte, die entsprechenden Geschosszahlen des ländlich geprägten Untersuchungsgebietes liegen unterhalb der auf Landesebene angegebenen Werte, mit Ausnahme der Werte für den Ein- und Zweifamilienhausbestand. Die Abweichungen nehmen zum Teil erhebliche Ausmaße an. Geschosszahlen in urbanen und ländlichen

<sup>45</sup> Die Werte zur mittleren Geschosszahl beziehen sich auf die Gemeinden des Untersuchungsgebietes, die Werte zur mittleren Wohnungsgröße aus Gründen der Datenverfügbarkeit auf das Gebiet des ehem. Landkreises Kamenz.

MFH-Beständen weichen bis zu nahezu 50 %-Punkte voneinander ab. Im EZFH-Bestand weichen die Geschossezahlen in den betrachteten urbanen und ländlichen Gebietseinheiten dagegen jeweils nur um wenige Prozentpunkte vom Landesmittel ab.

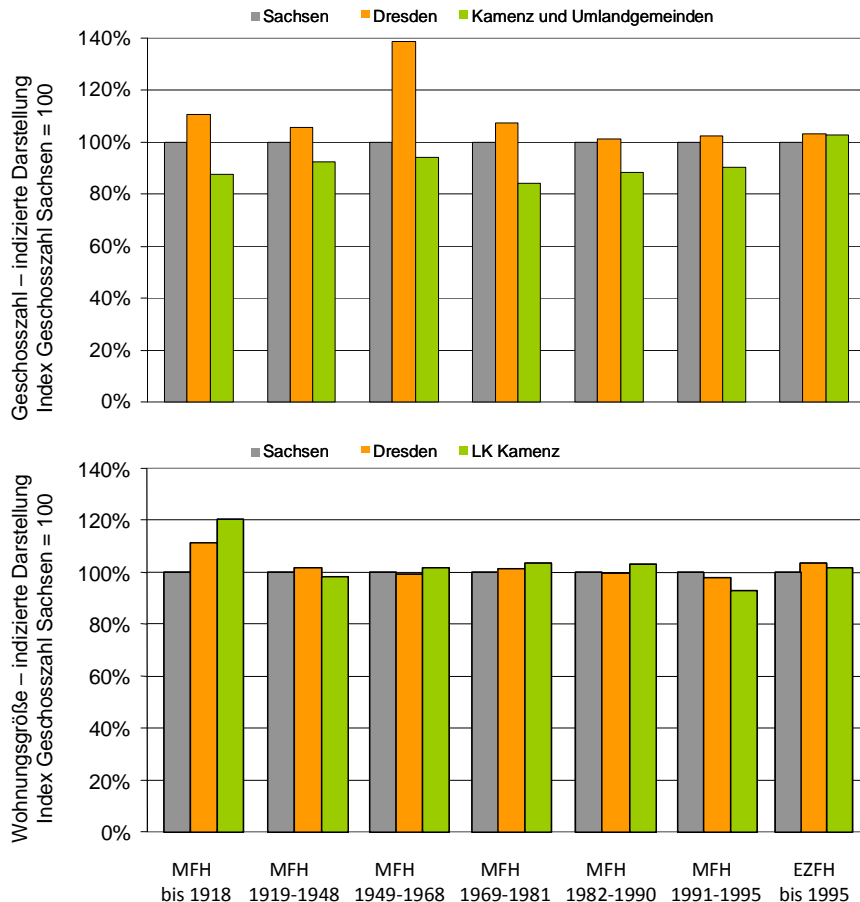


Abbildung 6-7: Mittlere Geschossezahl und mittlere Wohnungsgröße im Wohngebäudebestand Sachsens, Dresdens und den Gemeinden im Untersuchungsgebiet, nach Teilbeständen (eigene Berechnungen auf Grundlage von Daten der Gebäude- und Wohnungszählung 1995, Sonderauswertung durch das Statistische Landesamt Sachsen)

Beim Merkmal Wohnungsgröße ist die zu erkennende Variationsbandbreite zwischen den Beständen der betrachteten Raumeinheiten insgesamt deutlich geringer (untere Grafik der Abbildung 6-7). Die Ausprägungen in den urbanen und ländlichen Teilbeständen unterscheiden sich mit einer Ausnahme jeweils nur um wenige Prozentpunkte. Aber auch in der erwähnten Ausnahme (MFH bis 1918) liegen die Werte im urbanen und ländlichen Teilbestand weniger als 10 %-Punkte auseinander. Auffallend ist, dass, anders als beim Merkmal Geschossezahl, sich aus den Daten kein eindeutiges Bild ab-

zeichnet, in welchem siedlungsstrukturellen Kontext – urban oder ländlich – eher mit einer Über- oder Unterschreitung der Landesmittelwerte zu rechnen ist. Die Ausprägungen der mittleren Wohnungsgröße in den Teilbeständen des Untersuchungsgebietes liegen zum Teil über, zum Teil unterhalb der Landeswerte. Dasselbe gilt für die entsprechenden Ausprägungen im gegenübergestellten urbanen Bestand.

Es ist demnach zu vermuten, dass das Merkmal Geschossezahl einer deutlichen, systematisch auftretenden, regionalen Ausdifferenzierung unterliegt, das Merkmal Wohnungsgröße dagegen vergleichsweise geringe, dem Regionskontext geschuldete, Unterschiede aufweist. Das Merkmal Geschossezahl findet deshalb bei der nachfolgenden Regionalisierung der Dichtekennziffern Beachtung.

Ein weiterer Aspekt, der bei der Regionalisierung der Dichtekennziffern Berücksichtigung finden muss, ist der Anteil an Nichtwohnnutzung im Wohngebäudebestand. Bereits die Definition von Wohngebäude nach der Begriffsverwendung der amtlichen Statistik weist darauf hin, dass sich innerhalb von Wohngebäuden auch erhebliche Flächenanteile befinden können, die zu Nichtwohnzwecken genutzt werden. Demnach sind „Wohngebäude Gebäude, die mindestens zur Hälfte der Gesamtnutzfläche zu Wohnzwecken genutzt werden“ (Statistisches Bundesamt 2000, 15). Neben Wohnungen können sich beispielsweise Arztpraxen, Büros oder auch Geschäfte, Lagerflächen oder landwirtschaftliche Nutzflächen in den Gebäuden befinden. Die WGD-Referenzwerte berücksichtigen dies implizit, da nur die tatsächlich vorhandenen Wohnungen im Gebäudebestand der Referenzwerte bei der Generierung der Kennzahlen Berücksichtigung finden. Anpassungsnotwendigkeiten ergeben sich dann, wenn es Hinweise dafür gibt, dass sich im Untersuchungsgebiet die Nichtwohnanteile in den Gebäuden deutlich von denen im Bestand der Referenzstädte unterscheiden. Weiter bestehen Anpassungserfordernisse, wenn sich unter den im Untersuchungsgebiet als Wohngebäude identifizierten Gebäuden auch solche befinden, die nicht wohnbaulich genutzt sind, aber aufgrund ähnlicher Flächenausprägungen als solche eingeordnet sind.

### **6.3.1.1 Geschossezahl**

Die amtliche Gebäude- und Wohnungsstatistik definiert „Geschoss“ als „Gebäudeteil, der die auf einer Ebene liegenden Räume umfasst (Stockwerke, Etage). Einbezogen sind alle Geschosse, die vollständig oder mindestens zur Hälfte über der Geländeoberfläche liegen. Das ausgebaute Dachgeschoss zählt nur dann dazu, wenn mindestens zwei Drittel seiner Grundfläche eine lichte Höhe von 2,3 Meter aufweisen“ (Statistisches Bundesamt 2000, 13). Damit lehnt sich die Statistik an die Vorgaben der Landesbauordnungen an, welche hierfür den Begriff der „Vollgeschosse“ verwenden (stellvertretend: SächsBO 2004, 200).

Bestandsdaten des Merkmals „Geschlosszahl“ werden im Rahmen der Bautätigkeitsstatistik zwar erfasst und jährlich ausgewiesen (z. B. Statistisches Bundesamt 2003b), im Bestand aber nicht fortgeschrieben. Auf dieser Grundlage können somit keine Aussagen zur Geschlossigkeit im Gebäudebestand getroffen werden. In der jüngsten Vollerhebung des Gebäude- und Wohnungsbestandes von 1995<sup>46</sup>, die sich auf das Gebiet der neuen Länder erstreckt, wurde die Geschlosszahl mit abgefragt. Angaben zur Geschlosszahl im Wohnungsbestand können hieraus auf Gemeindeebene bei den Statistischen Landesämtern im Rahmen von Sonderauswertungen abgerufen werden. Es ist darüber hinaus eine Differenzierung nach Baualter und Gebäudegröße möglich. In den zurückliegenden Vollerhebungen in den alten Ländern (die letzte Vollerhebung fand 1987 statt, s. hierzu auch Statistisches Bundesamt 2000, 16 ff.) fand das Merkmal „Geschlossigkeit“ dagegen keine Berücksichtigung.

Unter Beachtung der Merkmale Baualter und Gebäudegröße können Bezüge zwischen den Daten der amtlichen Statistik und der Systematik der verwendeten Gebäudetypen hergestellt werden. In diesem Zusammenhang kann auf Arbeiten von Buchert et al. 2004 verwiesen werden (s. auch Ausführungen unter 6.1, hier insbesondere Fußnote 35). In Anlehnung hieran werden folgende Zuordnungen vorgenommen (Tabelle 6-3).

*Tabelle 6-3: Zuordnung von Baualtersklassen der Gebäude- und Wohnungsstatistik zu den Modellgebäudetypen in Anlehnung an Buchert et al. 2004*

| Modellgebäudetyp   | Baualtersklassen    |
|--|---------------------|
| Mehrfamilienhaus in Blockstruktur (G11, G12,)                      | bis 1918; nach 1990 |
| Mehrfamilienhaus in offener Baustruktur – Zelle traditionell (G21) | 1918 bis 1968       |
| Mehrfamilienhaus in offener Baustruktur – Zelle industriell (G22)  | 1969 bis 1990       |
| Ein- und Zweifamilienhäuser (G31, G32, G33)                        | alle Altersklassen  |

Damit können die in der Statistik ausgewiesenen Geschlosszahlen den Modellgebäudetypen zugeordnet und jeweils eine „regionalisierte Geschlosszahl“ benannt werden (Tabelle 6-4)<sup>47</sup>.

<sup>46</sup> Gebäude- und Wohnungszählung 1995 (GWZ 95)

<sup>47</sup> Im Gewerbebau wird vereinfacht pauschal von einer Geschlosszahl von 1 ausgegangen.



Tabelle 6-4: Regionalisierte Geschosshöhe nach Gebäudetyp, bezogen auf den Wohngebäudebestand im Untersuchungsgebiet (Eigene Auswertung auf Grundlage von Daten der Gebäude- und Wohnungszählung 1995)

| Modellgebäudetyp   | Geschosshöhe – regionalisierte Referenzwerte |        |             |                   |
|--|--|--------|-------------|-------------------|
|  | Kamenz                                       | Elstra | Nebelschütz | Schön-<br>teichen |
| Mehrfamilienhaus in Blockstruktur (G11, G12)                       | 2,8  | 2,5    | 2,0         | 2,3               |
| Mehrfamilienhaus in offener Baustruktur – Zeile traditionell (G21) | 3,2  | 2,6    | 2,3         | 2,6               |
| Mehrfamilienhaus in offener Baustruktur – Zeile industriell (G22)  | 4,6  | 3,6    | 2,0         | 3,0               |
| Ein- und Zweifamilienhäuser (G31, G32, G33)                        | 2,0  | 1,9    | 2,0         | 1,9               |

Die regionalisierten Geschosshöhen liegen bei den Mehrfamilienhaus-Typen durchweg unterhalb der Standardreferenzwerte (s. Tabelle 6-5 ). Im Ein- und Zweifamilienhausbereich führt die Regionalisierung zu einer Erhöhung der Geschosshöhen, ausgenommen des im Untersuchungsgebiet vernachlässigbaren Gebäudetyps G32 (Reihenhaus).

Tabelle 6-5: In SEMENTA implementierte Standardparameter zur Geschosshöhe für die verwendeten Wohngebäudetypen (verändert nach Meinel et al. 2008a, 40)

| Gebäudetyp |          |   | Geschosshöhe<br>(GZ) |
|------------|----------|---|----------------------|
| Code       | Kurzbez. | Bezeichnung   |                      |
| G11        | MFH-G    | Mehrfamilienhaus traditionell in geschlossener Bauweise | 4,5                  |
| G12        | MFH-F    | Mehrfamilienhaus (traditionell o. neu) freistehend      | 3,1                  |
| G21        | MFH-TZ   | Mehrfamilienhaus traditionell in Zeile                  | 3,8                  |
| G22        | MFH-IZ   | Mehrfamilienhaus industriell in Zeile                   | 6,0                  |
| G31        | EZFH     | Ein- und Zweifamilienhaus                               | 1,7                  |
| G32        | RH       | Reihenhaus  | 2,1                  |
| G33        | DH       | Dörflich traditionelles Haus                            | 1,7                  |

6.3.1.2 Anteil Nichtwohnnutzung

Der amtlichen Statistik können keine Hinweise entnommen werden, aus denen Anteile der Nichtwohnnutzung in den Gebäuden abgeschätzt werden können. Auch die Standardwerke der Städtebauliteratur machen hierzu keine Angaben. Es besteht also eine erhebliche Unsicherheit bezüglich der Ausprägung dieses Faktors. Mit ähnlich gelagerten Problemen waren auch Siedentop et al. (2006, 63 ff.) bei der Entwicklung ihres Bilanzierungsansatzes konfrontiert. Auch dort mussten Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung von Nichtwohnnutzungen in den von ihnen verwendeten Gebietstypen formuliert werden. Die dort verwendeten Faktoren können allerdings nicht ohne weiteres übertragen werden. Sie sind nur in Bezug auf die dort verwendete Ausgestaltung des Strukturtypenansatzes sowie im dort vorherrschenden regionalen Kontext gültig. Die Vorgehensweise der Faktorenbestimmung ist allerdings übertragbar. Siedentop

et al. (2006) versuchen, den empirisch unverhältnismäßig aufwendig belegbaren Phänomenen durch eine nachvollziehbare Schätzung zu begegnen. Zunächst formulieren sie schlüssige Nichtwohnnutzungsanteile für die Strukturtypen auf der Grundlage von Plausibilitätsüberlegungen. Diese werden dann im Abbildungsmodell eingesetzt, im Rahmen des oben beschriebenen Realitätsabgleichs mit Gemeindedaten der amtlichen Statistik geprüft und ggf. weiter angepasst (s. hierzu Ausführungen in Abschnitt 6.3).

Die hier verwendete Vorgehensweise lehnt sich hieran an. Hierzu werden Plausibilitätsannahmen zur Nichtwohnnutzung im Gebäude und zum Anteil an Nichtwohngebäuden im kartierten Wohngebäudebestand formuliert. Diese basieren auf dem Erfahrungshintergrund zurückliegender siedlungsstruktureller Untersuchungen des Verfassers in sehr unterschiedlich siedlungsstrukturell geprägten Räumen sowie auf qualitativen Beobachtungen, die im Rahmen der vorgenommenen manuellen Nachkartierung im Untersuchungsgebiet gemacht wurden.

- Nichtwohnnutzung im Gebäude

Gegenüber der großstadtgeprägten Situation der Referenzstädte, befinden sich in Wohngebäuden des Untersuchungsgebietes höhere Anteile an Nichtwohnnutzung.

Begründung: Mehrfamilienhäuser in Blockstrukturen finden sich überwiegend in den Hauptorten. Im Erdgeschoss befinden sich oft Büros und Ladenflächen<sup>48</sup>. Hierbei unterscheiden sie sich nicht signifikant von ähnlichen Strukturen in Großstädten. Aufgrund der deutlich geringeren Geschosshöhe ist der Anteil der Nichtwohnfläche an der Gesamtgeschossfläche der Gebäude aber deutlich höher. Abgeschwächt gilt dies für die Mehrfamilienhäuser in offener Baustruktur. Hier treten vor allem von außen nicht sichtbare Nebennutzungen auf (Nutzung einzelner Wohnungen als Büro, Arztpraxis oder ähnliches). Dörflich traditionelle Gebäude im Untersuchungsgebiet haben oft hohe Flächenanteile, die nicht wohnbaulich genutzt sind. Dies sind z. B. im Gebäude integrierte Flächen zum Abstellen von Fahrzeugen oder sonstige Speicherflächen<sup>49</sup> (siehe hierzu u. a. gebäudetypologische Untersuchungen von Gruhler et al. (2008) zum „Wohnstallhaus“)<sup>50</sup>. Abgeschwächt gilt dies auch für freistehende bzw. gereimte Einfamilienhäuser.

---

<sup>48</sup> Dies gilt nicht für Mehrfamilienhäuser in ländlichen Ortslagen. Diese spielen quantitativ aber eine sehr untergeordnete Rolle.

<sup>49</sup> Im großstädtischen Kontext sind diese ehemals landwirtschaftlichen Gebäudeteile oftmals ausgebaut und dienen Wohnzwecken.

<sup>50</sup> Gruhler et al. (2008) führen Untersuchungen zu Möglichkeiten der energetischen Ertüchtigung ländlich geprägter Gebäudetypen durch.

▪ Anteil Nichtwohngebäude

In ländlich geprägten Siedlungsgebieten, wie sie im Untersuchungsgebiet vorkommen, ist der Anteil an Nichtwohngebäuden im mit SEMENTA kartierten Wohngebäudebestand höher als im großstädtischen Umfeld.

Begründung: Gebäude in traditionellen Blockstrukturen werden aufgrund der insgesamt vergleichsweise geringen Gesamtnutzfläche häufiger gänzlich zu Nichtwohnzwecken genutzt (z. B. Gaststätten, Büros). Auch in Zentrumslage befinden sich Lagergebäude mit Grundflächenausprägungen ähnlich denen umliegender Wohngebäude. Zeilenstrukturen sind meist eingebettet in historisch gewachsene Bestände. Lagerhallen und ähnliches, die hier ebenfalls auftreten, weisen oftmals zeilenartige Strukturen auf, was die Kartierung erschwert. In dörflich traditionellen Strukturen stehen Wohngebäude oftmals im Gebäudeverbund mit Scheunen und anderen landwirtschaftlichen Gebäuden (Beispiel Dreiseithof). Eine Abgrenzung der nichtwohnbaulich genutzten Gebäudeteile vom Wohntrakt ist mit den bei der Kartierung verwendeten Daten nicht oder nur sehr schwer möglich. Deshalb wird für größere, ähnlich strukturierte Gebäudeensembles derselbe Typ vergeben. Gleiches gilt für die im Gebiet vorhandene Einfamilienhausbebauung, die oft in gewachsene Strukturen integriert ist. Gereihte Einfamilienhäuser stehen definitionsgemäß enger, der Raum für „Fremdnutzungsgebäude“ ist kleiner, entsprechend geringer ist vermutlich der Anteil der Nichtwohngebäude in diesen Strukturen.

Tabelle 6-6 fasst die Annahmen zum Anteil von Nichtwohnnutzung in den Gebäuden sowie die Annahmen zum Anteil an Nichtwohngebäuden innerhalb der kartierten Bebauung in Form von Faktoren zusammen. Die Werte sind Ergebnis der plausiblen Setzung und der kritischen Reflexion im Rahmen des erfolgten Realitätsabgleichs mit Daten der Gebäude- und Wohnungsstatistik auf Gemeindeebene.

*Tabelle 6-6: Faktoren zur Berücksichtigung des Anteils Nichtwohnnutzung im Wohngebäudebestand des Untersuchungsraumes*

| Modellgebäudetyp   | Faktor Nichtwohnnutzung im Gebäude | Faktor Anteil Nichtwohngebäude |
|--|------------------------------------|--------------------------------|
| Mehrfamilienhaus in Blockstruktur (G11, G12)                       | 0,2                                | 0,3                            |
| Mehrfamilienhaus in offener Baustruktur – Zeile traditionell (G21) | 0,1                                | 0,4                            |
| Mehrfamilienhaus in offener Baustruktur – Zeile industriell (G22)  | 0,1                                | 0,1                            |
| Ein- und Zweifamilienhäuser – freistehend (G31)                    | 0,1                                | 0,6                            |
| Ein- und Zweifamilienhäuser – gereiht (G32)                        | 0,1                                | 0,3                            |
| Dörflich traditionell (G33)  | 0,3                                | 0,6                            |

Bei Anwendung dieser Werte und der oben beschriebenen regionalisierten Geschossezahlen zeigt sich im Gesamtuntersuchungsraum eine weitgehende Übereinstimmung zwischen dem Ergebnis der Hochrechnung und den statistischen Daten. In den Einzelgemeinden bleiben die Fehlerabweichungen moderat. Sie liegen in der Spanne von -12 % bis +2 %<sup>51</sup>. Entsprechend dieser Abweichungen wird die Wohnungsanzahl je Gebäudegrundfläche korrigiert, nachdem diese durch Anwendung der regionalisierten WGD (s. nachfolgender Abschnitt) auf die Gebäudegrundflächen berechnet wurde.

### 6.3.1.3 Regionalisierte Wohnungsgrundflächendichte

*Unter Verwendung der regionalisierten Geschossezahlen für die Gebäudetypen (Tabelle 6-4) und der Faktoren zur Berücksichtigung des Anteils Nichtwohnnutzung im Wohngebäudebestand (Tabelle 6-6) wird die regionalisierte Wohnungsgrundflächendichte nach Formel 6-7 berechnet. Die Ergebniswerte der regionalisierten Wohnungsgrundflächendichte sind in Tabelle 6-7) zusammengefasst.*

Formel 6-7: Regionalisierte Wohnungsgrundflächendichte

$$WGD_R = WGD_S * \frac{GZ_R}{GZ_S} * (1-F_{NWN}) * (1-F_{NWG})$$

WGD: Wohnungsgrundflächendichte  
 GZ: Geschoszahl  
 R: Regionalisiert  
 S: Standardwert  
 F<sub>NWN</sub>: Faktor Nichtwohnnutzung im Gebäude  
 F<sub>NWG</sub>: Faktor Anteil Nichtwohngebäude

---

<sup>51</sup> -12 % in Elstra, -2 % bis +2 % in den drei anderen Gemeinden. Diese Abweichung wird als akzeptabel angesehen (Siedentop et al. (2006) legen als Toleranzbereich bei entsprechenden Kontrollrechnungen einen Akzeptanzbereich von +/-20 % fest). Eine weitere Verbesserung wäre nur durch Ausdifferenzierung der Korrekturfaktoren nach den Gemeindegebieten zu erreichen. Dieser Detaillierungsgrad übersteigt die Leistungsfähigkeit des gewählten, annahmegestützten Vorgehens.

Tabelle 6-7: Ausprägungen der regionalisierten Wohnungsgrundflächendichte

| Modellgebäudetyp                    | Wohnungsgrundflächendichte (WGD)<br>(Wohnungen/m² Grundfläche) |                              |        |              |               |
|-------------------------------------|--|------------------------------|--------|--------------|---------------|
|                                     | Referenzwert   | Regionalisierte Ausprägungen |        |              |               |
|                                     |  | Kamenz                       | Elstra | Nebel-schütz | Schön-teichen |
| MFH – Blockstruktur (geschl.) (G11) | 0,038  | 0,013                        | 0,012  | 0,009        | 0,011         |
| MFH – Blockstruktur (offen) (G12)   | 0,032  | 0,016                        | 0,015  | 0,012        | 0,013         |
| MFH – Zeile traditionell (G21)      | 0,041  | 0,018                        | 0,015  | 0,014        | 0,015         |
| MFH – Zeile industriell (G22)       | 0,077  | 0,048                        | 0,037  | 0,021        | 0,031         |
| EZFH – freistehend (G31)            | 0,012  | 0,005                        | 0,005  | 0,005        | 0,005         |
| EZFH – Reihenhaus (G32)             | 0,019  | 0,012                        | 0,011  | 0,011        | 0,011         |
| Dörflich traditionell (G33)         | 0,010  | 0,003                        | 0,003  | 0,003        | 0,003         |

6.3.1.4 Anteil der Gebäudetypen am Wohnungsbestand im Untersuchungsgebiet

Die Anwendung der regionalisierten WGD (Tabelle 6–7) sowie die Berücksichtigung der im Realitätsabgleich gewonnenen Korrekturfaktoren (s. Abschnitt 6.3.1.2, letzter Absatz) ergibt die in Tabelle 6-8 dargestellte Verteilung des Wohnungsbestandes auf die unterschiedenen Gebäudetypen.

Tabelle 6-8: Verteilung des Wohnungsbestandes auf die Gebäudetypen im Untersuchungsgebiet

| Modellgebäudetyp   | Verteilung des Wohnungsbestandes auf die Gebäudetypen (gerundet) |        |              |               |
|--|--|--------|--------------|---------------|
|  | Kamenz   | Elstra | Nebel-schütz | Schön-teichen |
| Mehrfamilienhaus in Blockstruktur (geschlossen) (G11)              | 20 %   | 20 %   | 0 %          | 0 %           |
| Mehrfamilienhaus in Blockstruktur (offen) (G12)                    | 16 %   | 0 %    | 0 %          | 3 %           |
| Mehrfamilienhaus in offener Baustruktur – Zeile traditionell (G21) | 25 %   | 8 %    | 4 %          | 6 %           |
| Mehrfamilienhaus in offener Baustruktur – Zeile industriell (G22)  | 7 %  | 0 %    | 0 %          | 0 %           |
| Ein- und Zweifamilienhäuser freistehend (G31)                      | 13 %   | 3 %    | 6 %          | 17 %          |
| Ein- und Zweifamilienhäuser Reihenhaus (G32)                       | 2 %  | 0 %    | 4 %          | 0 %           |
| Dörflich traditionell (G33)  | 17 %   | 68 %   | 86 %         | 74 %          |
| Gesamt   | 100 %  | 100 %  | 100 %        | 100 %         |

Im Stadtgebiet von Kamenz dominieren die MFH-Typen den Wohnungsbestand. In der Stadt Elstra spielen Wohnungsbestände in MFH Typen mit nahezu 30 % noch eine bedeutende Rolle, in den beiden anderen Umlandgemeinden konzentriert sich der Wohnungsbestand nahezu vollständig auf die Ein- und Zweifamilienhaustypen und hierbei vor allem auf den Typ dörflich traditionell. In den beiden erstgenannten Ge-

meinden mit höheren MFH-Anteilen deckt sich diese Struktur sehr gut mit den Angaben der Statistik (Abweichungen von maximal  $\pm 3$  %-Punkte bei MFH und EZFH). Bei den sehr ländlich geprägten beiden anderen Gemeinden wird der real auftretende niedrige Anteil an Wohnungen in Mehrfamilienhäusern (12 % in Nebelschütz, 18 % in Schönteichen) unterschätzt (um 8 bis 9 Prozentpunkte)<sup>52</sup>. Dies lässt sich damit erklären, dass Mehrfamilienhäuser sehr gestreut innerhalb der dörflichen Strukturen auftreten und bei der Kartierung meist nicht von der umliegenden dörflich traditionellen Bebauung unterschieden werden kann. Anzunehmen ist, dass es sich bei den nicht erkannten Mehrfamilienhäusern überwiegend um kleinere Gebäude handelt, die sich im Erschließungsaufwand nicht wesentlich von größeren Ein- und Zweifamilienhäusern unterscheiden. Das Ergebnis der kleinräumigen Wohnungsverteilung wird demnach hinsichtlich des verfolgten Modellierungszwecks als akzeptabel eingeschätzt.

### 6.3.2 Abbildung der kleinräumigen Einwohnerverteilung

Anders als bei der physischen Kenngröße Wohnungsgrundflächendichte erfolgt keine direkte Regionalisierung des in SEMENTA implementierten Referenzwertes der Einwohnergrundflächendichte, sondern eine Schätzung der Einwohnerverteilung im kleinräumig verteilten Wohnungsbestand (s. Ausführungen zu Beginn von Abschnitt 6.3). Dies erfolgt mit Hilfe von Belegungsparametern. Hierbei ist von Interesse, wie viele der Wohnungen bewohnt sind und mit wie vielen Personen die bewohnten Wohnungen belegt sind. Ersteres wird mit der Wohnungsleerstandskennziffer, Letzteres mit der Wohnungsbelegungszahl ausgedrückt.

#### 6.3.2.1 Wohnungsleerstand

Wohnungsleerstand kann Ausdruck einer bestimmten Phase der allgemeinen Wohnungsmarktkonjunktur oder einer bestimmten regionalen Wohnungsmarktkonstellation sein. Das Phänomen tritt dann zeitlich und regional relativ eng begrenzt auf. Wohnungsleerstände können aber auch ein strukturelles Phänomen darstellen, resultierend auf Bedarfsverschiebungen und einer langfristig andauernden mangelnden Wohnungsnachfrage, wie es seit mehreren Jahren insbesondere im Osten Deutschlands, zunehmend aber auch im Westen zu beobachten ist. Allgemein gilt, dass ein gewisser Anteil an leer stehenden Wohnungen als Umzugsreserve für einen funktionsfähigen Wohnungsmarkt notwendig ist. Diese, oft als „natürlicher Leerstand“ bezeichnete Quote, wird in der Regel mit 2-3 % angenommen (BBR 2004, 70).

Verlässliche, bundesweit repräsentative und regionalisierte Informationen zum Wohnungsleerstand stehen nicht zur Verfügung. Das Bundesamt für Bauwesen und Raum-

---

<sup>52</sup> Die Gesamtwohnungszahl stimmt aufgrund der erfolgten Korrektur im Rahmen des Realitätsabgleichs in allen Gemeinden mit der statistisch ausgewiesenen Wohnungsanzahl überein.

ordnung greift deshalb zur groben Einschätzung der Leerstandssituation in Deutschland im Rahmen der Wohnungsmarktbeobachtung auf Ergebnisse der Mikrozensuszusatzserhebungen zurück. Es erkennt darin, insbesondere in den neuen Ländern, durchaus plausible Muster hinsichtlich der Leerstandsquoten in verschiedenen Baualtersklassen im Mehrfamilienhausbestand und hinsichtlich der sozioökonomischen Situation in den einzelnen Regionen (BBR 2004, 70). In den alten Ländern scheint es dagegen bislang noch „kein flächendeckendes Problem dauerhaft leer stehender Wohnungen“ zu geben (BBR 2004, 75). Der Streubereich gesamtstädtischer Leerstände lag hier 2002 zwischen unter 1 % bis ca. 6 %. Aber auch hier ist derzeit ein Anstieg der Leerstandsquoten zu beobachten. So liegen die Quoten für Westdeutschland nach Angaben aktueller Mikrozensusdaten (Statistisches Bundesamt 2008b) insgesamt bereits bei 5,8 % im Ein- und Zweifamilienhausbestand bzw. bei 7,6 % im Mehrfamilienhausbestand.

Auswertungsergebnisse von insgesamt 269 Stadtumbaukonzepten ostdeutscher Kommunen machen deutlich, dass nicht allein die Zusammensetzung der Wohnungsbestände für die Leerstandsproblematik der Städte verantwortlich ist. Vor allem die sozioökonomische Situation spielt eine wesentliche Rolle (BBR 2004, 72 f). So liegen in der genannten Auswertung die gesamtstädtischen Leerstände in einer Spanne von 0 % bis etwa 30 %. Bei den Kommunen mit sehr hohen Leerständen (über 20 %) sind sowohl kleinere Gemeinden unter 10.000 Einwohnern als auch Mittel- und Großstädte vertreten. Hohe Leerstandsquoten finden sich bei ganz unterschiedlichen Gebäudeensembles der Städte. Altindustrialisierte Städte mit hohen Altbauanteilen sind genauso vertreten wie DDR-Entwicklungsstädte mit hohen Anteilen industrieller Wohnbauten.

Ausführungen in Siedentop et al. (2006, 60) weisen gebäudetypenspezifische Leerstandsquoten aus. Sie beziehen sich dabei auf vorliegende Auswertungen von Mikrozensusdaten. Bei den Mehrfamilienhauswohnungen werden weiter unterschiedliche Leerstandsausprägungen in Abhängigkeit des Gebäudealters aufgezeigt. Diese Aussagen werden allerdings auf Grundlage von Länderdaten getroffen. Inwieweit diese Ausdifferenzierung auf kleinräumiger Ebene durchschlagen, kann aus den vorliegenden Daten nicht entnommen werden. Für die hier zu leistende Modellierungsaufgabe wird deshalb auf eine baualtersspezifische bzw. differenzierte gebäudetypologische Unterscheidung der Quoten verzichtet. Die Differenzierung der Leerstandsannahmen beschränkt sich auf die beiden Hauptgruppen Mehrfamilienhäuser (MFH) und Ein- und Zweifamilienhäuser (EZFH), entsprechend der zum Modellierungszeitpunkt verfügbaren Mikrozensusangaben (Statistisches Bundesamt 2004) (s. Tabelle 6-9).

Tabelle 6-9: Modellannahmen zum Wohnungsleerstand

| Modellgebäudetyp                            | Modellannahmen „Wohnungsleerstand“ |
|---|------------------------------------|
| Mehrfamilienhaus (G11, G12, G21, G22)       | 17,6 %                             |
| Ein- und Zweifamilienhäuser (G31, G32, G33) | 7,6 %                              |

### 6.3.2.2 Wohnungsbelegung

Die Wohnungsbelegung gibt die Anzahl von Personen je bewohnter Wohnung an. In den letzten 50 Jahren unterlagen die Belegungskennziffern starken Veränderungen. 1950, in Zeiten großer Wohnungsknappheit, war eine bewohnte Wohnung im Schnitt mit 4,6 Personen belegt. Seither ging diese Zahl kontinuierlich zurück und scheint sich langsam einer Untergrenze anzunähern (s. Statistisches Bundesamt 2000, 70). In Deutschland liegt der Wert derzeit im Mittel bei 2,1 Personen je bewohnte Wohnung. Die Belegungskennziffern im Westen und Osten Deutschlands unterscheiden sich nur geringfügig (Statistisches Bundesamt 2006c).

Deutliche Unterschiede zeigen die Belegungskennziffern unterschiedlicher Gebäudetypen. Der Einfamilienhausbestand weist mit bundesweit 2,6 Einwohnern je bewohnter Wohnung den höchsten Wert auf. Deutlich geringer ist die Belegung in Zweifamilienhäusern mit 2,1 Einwohnern je bewohnter Wohnung. In Mehrfamilienhäusern geht die Belegung mit zunehmender Gebäudegröße zurück und nähert sich bei sehr großen Gebäuden einem Wert von 1,7 je bewohnter Wohnung an (Abbildung 6-8).

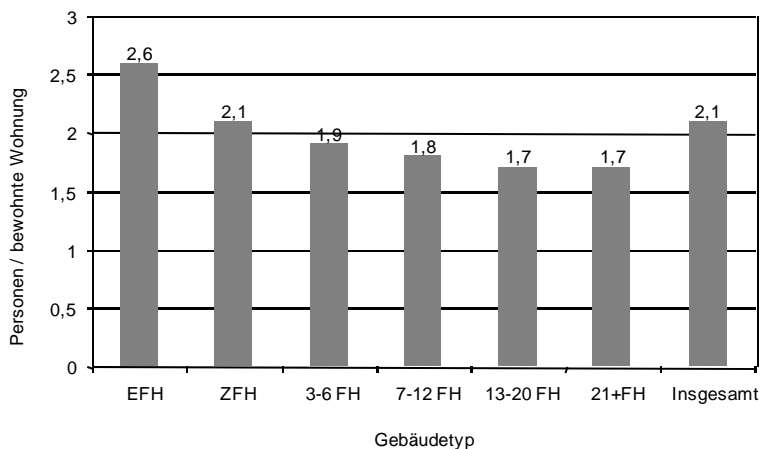


Abbildung 6-8: Wohnungsbelegung in Deutschland nach Gebäudetyp – eigene Darstellung auf Grundlage von Daten aus Statistisches Bundesamt (2006)



Neben den in der Statistik ausgewiesenen Belegungskennziffern werden in der Literatur Belegungszahlen als Planungskennziffern angegeben (z. B. Streich 2005, 237; Kor-da 2005, 119). Diese Kennziffern beziehen sich auf die planmäßige Belegung von Wohnungen. Sie übertreffen die real bestehende Belegung im Wohnungsbestand deutlich und eignen sich deshalb nicht als Parameter für die hier zu leistende Modellie-rungsaufgabe.

Die Festlegung der Parameter für die Anwendung im Modellgebiet erfolgt in Anleh-nung an die aufgeführten gebäudetypologischen Werte der Mikrozensuszusaterhe-bung. Als Belegungskennziffer für Mehrfamilienhauswohnungen wird pauschal der Wert 1,9 angesetzt. Kleinere Werte werden vor allem in sehr großen Mehrfamilien-häusern erreicht. Diese sind im Untersuchungsgebiet die Ausnahme. Für die zusam-mengefasste Gruppe der Ein- und Zweifamilienhäuser wird die Belegung gemeinde-spezifisch ermittelt. Dies erfolgt unter Berücksichtigung der Kennziffern für EFH (2,6) und ZFH (2,1) und der Anteile dieser beiden Gebäudetypen am Ein- und Zweifamilien-hausbestand in den jeweiligen Gemeinden, die der Gemeindestatistik entnommen werden können.

*Tabelle 6-10: Modellannahmen zur Wohnungsbelegung (eigene Annahmen auf Grundlage von Statistisches Bundesamt (2006c))*

| Modellgebäudetyp                               | Modellparameter „Wohnungsbelegung“ |        |             |              |
|--|------------------------------------|--------|-------------|--------------|
|  | Kamenz                             | Elstra | Nebelschütz | Schönteichen |
| Mehrfamilienhaus<br>(G11, G12, G21, G22)       | 1,9                                |        |             |              |
| Ein- und Zweifamilienhäuser<br>(G31, G32, G33) | 2,38                               | 2,39   | 2,41        | 2,36         |

**6.3.2.3 Realitätsabgleich**

Die Berechnung der Einwohnerzahl je Gebäudepolygon erfolgt durch Multiplikation der für die typisierten Gebäudepolygone ermittelten Wohnungsanzahl mit der Quote bewohnter Wohnungen (1-Leerstandsquote) und der Kennziffer für Wohnungsbele-gung. Anschließend erfolgt auch hier entsprechend des Vorgehens bei der Wohnungs-verteilung ein Realitätsabgleich mit statistischen Daten auf Gemeindeebene.

Die Abweichung der hochgerechneten Einwohnerzahl zum statistisch ausgewiesenen Wert liegt insgesamt bei -14 %, d. h. mit dem Modell wird die statistisch abrufbare Einwohnerzahl unterschätzt. In Anbetracht dessen, das die Belegungskennziffern Lan-desmittelwerte darstellen, ist dies trotz der Unterschätzung als akzeptable Annäherung einzustufen. Die Unterschätzung zieht sich durch alle betrachteten Gemeindegebiete des Untersuchungsraumes. Sie liegen in drei Gemeinden bei einer Abweichung um 12 % und 15 %, gemessen am statistisch ausgewiesenen Gemeindewert. In der Ge-meinde Nebelschütz beträgt die Unterschätzung 25 %. Dies deutet darauf hin, dass insbesondere in dieser Gemeinde Leerstandszahlen unterdurchschnittlich und Bele-

gungskennziffern überdurchschnittlich sind, was in Anbetracht der in Abschnitt 5.2 aufgeführten Strukturdaten durchaus plausibel erscheint.

Entsprechend der gemessenen Abweichungen werden auch hier die Korrekturfaktoren festgelegt, mit denen analog des Vorgehens bei der Abbildung der Wohnungsverteilung eine Korrektur der flächenspezifischen Einwohnerwerte auf der Ebene der Gebäudepolygone erfolgt. Die Gesamteinwohnerzahl auf Gemeindeebene entspricht damit der statistisch ausgewiesenen Einwohnerzahl.

### **6.3.3 Abbildung der Gebäudeverteilung und der Gebäudebelegung**

Die Berechnung des Aufwandes an dezentralen Schmutzwasserbehandlungsanlagen erfolgt im hier entwickelten Verfahren gebäudebezogen. Dabei wird angenommen, dass jedes bewohnte Gebäude das Abwasser über eine eigene Hauskläranlage entsorgt. Dazu werden Angaben zur Gebäudeanzahl und zur Gebäudebelegung (bewohnt oder unbewohnt) benötigt.

Die Definition von Gebäude erfolgt entsprechend der Begrifflichkeit der amtlichen Gebäude- und Wohnungsstatistik, um anschlussfähig an die in der Statistik gegebene Gebäudeanzahl zu sein. Demnach gelten Gebäude als eigenständige Einzelgebäude, sofern sie „durch eine vom Dach bis zum Keller reichende Brandmauer von anderen Gebäuden getrennt sind“ (Statistisches Bundesamt 1998, 10). So bestehen beispielsweise Häuserzeilen, wie sie im Mehrfamilienhausbau der 50er und 60er Jahre üblich waren, aus mehreren gereihten Einzelgebäuden (mehrere gereichte Hauseingänge je Baublock).

Um im Modell konsistent zu bleiben, erfolgt auch die Abbildung der Verteilung der Gebäudeanzahl anknüpfend an die Wohnungsanzahl und der vorgenommenen Wohnungsverteilung. Ausgehend von den im Modell beschriebenen Größen zum Wohnungsleerstand werden in Abschnitt 6.3.3.2 darüber hinaus Annahmen zum Gebäudeleerstand getroffen.

#### **6.3.3.1 Gebäudeverteilung**

Die Bautätigkeitsstatistik macht auf Gemeindeebene Angaben zur Gebäudegröße (Wohnungen je Gebäude) im Ein-, Zwei- und Mehrfamilienhausbestand. Letzterer wird aber nicht weiter differenziert. Die zum Teil sehr unterschiedlichen Ausprägungen der Gebäudegröße im Mehrfamilienhausbestand mitteln sich in dieser kumulierten Größe aus. Aus diesem Grund wird auf die Verwendung dieser Kennziffern verzichtet und stattdessen ein Weg gewählt, plausible Annahmen typischer Gebäudegrößen für die verwendeten Gebäudetypen zu treffen. Dies erfolgt unter Beachtung der regionalisierten Geschosshöhe (aus Tabelle 6-4) sowie Annahmen zur Ausgestaltung der Erschließung von Wohnungen innerhalb der Gebäude, die sich im Spännertyp ausdrückt. Der angesprochene Spännertyp ist im Mehrfamilienhausbau die verbreitete

Bauweise. Im Spannertyp wird das Gebäude vertikal über ein Treppenhaus erschlossen, auf jeder Etage gehen dann eine oder mehrere Wohnungen ab. Die Spännerzahl gibt dabei die Anzahl der Wohnungen je Geschoss an. Neben der horizontalen Erschließung kennt der Geschosswohnungsbau unterschiedliche Formen der vertikalen Erschließung, wie das Laubengang- und Innenganghaus. Hier wird ein längerer Gebäudblock mit nur einem Treppenhaus erschlossen, von dem je Etage eine Vielzahl von Wohnungen abgehen. Diese Erschließungsformen traten in den 50er Jahren vereinzelt auf. Insgesamt sind diese Hausformen jedoch eher die Ausnahme (Streich 2005, 237; Korda 2005, 104 f.).

Da die amtliche Statistik keine Auskunft über die Struktur der Erschließung der Wohnungen im Gebäude gibt, werden Erkenntnisse aus vorliegenden gebäudetypologischen Untersuchungen von Schulze und Walther (1990) genutzt. Demnach steigt die Spännerzahl mit zunehmender Geschosshöhe an. In Gebäuden mit bis zu 6 Geschossen kann eine Spännerzahl von 2 bis 3 als üblich angenommen werden. In Hochhäusern sind dagegen Vielspänner (4 bis 8 und mehr) dominant. Unter Beachtung dieser Zusammenhänge werden die in Tabelle 6-11 aufgeführten Annahmen für die Modellgebäudetypen getroffen.

Tabelle 6-11: Modellannahme zur Spännerzahl der MFH-Typen

| Modellgebäudetyp   | Spännerzahl |
|--|-------------|
| Mehrfamilienhaus in Blockstruktur (G11, G12)                       | 2           |
| Mehrfamilienhaus in offener Baustruktur – Zeile traditionell (G21) | 2           |
| Mehrfamilienhaus in offener Baustruktur – Zeile industriell (G22)  | 3           |

Hieraus können unter Verwendung der regionalisierten Geschosshöhen (Tabelle 6-4) Kennwerte für charakteristische gebäudetypenspezifische Gebäudegrößen berechnet werden. Dabei wird zusätzlich der Faktor „Nichtwohnnutzung im Gebäude“ (Tabelle 6-6) berücksichtigt. Die so berechneten Werte fasst Tabelle 6-12 zusammen.

Tabelle 6-12: Annahmen zur Wohnungsanzahl je Gebäude für die Modellgebäudetypen

| Modellgebäudetyp   | Modellannahmen Wohnungsanzahl je Gebäudetyp |        |             |              |
|--|---|--------|-------------|--------------|
|  | Kamenz                                      | Elstra | Nebelschütz | Schönteichen |
| Mehrfamilienhaus in Blockstruktur geschlossen (G11, G12)           | 4,5   | 4,0    | 3,2         | 3,7          |
| Mehrfamilienhaus in offener Baustruktur – Zeile traditionell (G21) | 5,8   | 4,7    | 4,1         | 4,7          |
| Mehrfamilienhaus in offener Baustruktur – Zeile industriell (G22)  | 12,4  | 9,7    | 5,4         | 8,1          |
| Ein- und Zweifamilienhäuser (G31, G32, G33)                        | 1,29  | 1,27   | 1,24        | 1,32         |

### 6.3.3.2 Gebäudeleerstand

Leerstandszahlen werden in der Statistik, der Literatur sowie der wohnungswirtschaftlichen Diskussion üblicherweise als Wohnungsleerstand angegeben. Über den Gebäudeleerstand ist nur sehr wenig bekannt. Vereinzelt finden sich entsprechende Angaben bezogen auf sehr spezifische lokal begrenzte Gebiete (z. B. Schmidt 2007). Bei Einfamilienhäusern stellt sich das Problem nicht. Hier entspricht der Wohnungsleerstand dem Gebäudeleerstand. Doch bereits bei Zweifamilienhäusern kann sich der Gebäudeleerstand deutlich vom Wohnungsleerstand unterscheiden, abhängig davon, wie konzentriert der Wohnungsleerstand auftritt. Zur Ableitung des Gebäudeleerstandes aus dem Wohnungsleerstand sind also Annahmen zur Leerstandsverteilung im betroffenen Gebäudebestand zu treffen. Diese Annahmen werden mangels verfügbarer Daten pauschal in Form von Verteilungsquoten getroffen. Dabei wird unterschieden zwischen Mehrfamilienhaus- und Ein- und Zweifamilienhausgebäudetypen (Tabelle 6-13).

Im Ein- und Zweifamilienhausbestand wird angenommen, dass sich 70 % des Wohnungsbestandes auf ganze Gebäude konzentriert und 30 % des Wohnungsleerstandes als Teilleerstand in Form einzelner leer stehender Wohnungen in den Zweifamilienhausgebäuden auftritt. Im Mehrfamilienhausbestand wird pauschal eine Verteilung des Wohnungsleerstandes auf Teilleerstand zu Totalleerstand im Verhältnis 1:1 angenommen.

*Tabelle 6-13: Angenommene Verteilungsquoten des Wohnungsleerstandes im Gebäudebestand (Faktor Gebäudeleerstand)*

| Modellgebäudetyp                            | Verteilungsquoten des Wohnungsleerstandes im Gebäudebestand |                |
|---|---|----------------|
|   | Teilleerstand   | Totalleerstand |
| Mehrfamilienhaus (G11, G12, G21, G22)       | 50 %  | 50 %           |
| Ein- und Zweifamilienhäuser (G31, G32, G33) | 30 %  | 70 %           |

Aus den Größen Wohnungsleerstand, Verteilungsquote und der mittleren Wohnungsanzahl je Gebäude wird der Gebäudeleerstand ermittelt. Die hierbei vorgenommene Rechnung soll durch folgendes einfaches Zahlenbeispiel verdeutlicht werden. Bei angenommener Wohnungsanzahl von 100 und einem angenommenen Wohnungsleerstand von 16 % stehen 16 Wohnungen leer. Bei einer Verteilungsquote von 50 %/50 % verteilen sich 8 leer stehende Wohnungen dispers auf teilleerstehende Gebäude. 8 leer stehende Wohnungen konzentrieren sich auf total leer stehende Gebäude. Bei einer Gebäudegröße von 4 Wohnungen je Gebäude verteilt sich der Gesamtwohnungsbestand auf 25 Gebäude. Zwei davon sind von Totalleerstand betroffen (8 Wohnungen). Der Gebäudeleerstand beträgt dann 8 % (zwei von 25 Gebäuden).



## 7 Infrastrukturmodell

Im Infrastrukturmodell werden physische Merkmale des vorhandenen zentralen Entsorgungssystems sowie die für die Simulation von Dezentralisierung erforderlichen dezentralen Komponenten beschrieben.

In der zentralen Siedlungsentwässerung kommen unterschiedliche technische Elemente zum Einsatz. Die umfangreichsten Bauwerke der Siedlungsentwässerung sind die Kanäle. Meist sind diese als Freispiegelkanäle ausgeführt. Im Kanalnetz sind in regelmäßigen Abständen sowie bei Richtungswechsel, Gefällewechsel, Materialwechsel, Kanalzusammenführung und Sonderbauwerken Kontrollschächte angeordnet, die der Überwachung, dem Unterhalt und der Lüftung des Kanalnetzes dienen. Weitere Elemente sind die Sonderbauwerke. Hierzu zählen vor allem Anlagen, die im Zusammenhang mit der Ableitung von Niederschlagswasser die Schwankungen bei plötzlichem Anfall großer Wassermengen abfangen sollen, wie z. B. Entlastungsbauwerke oder Rückhaltebecken (siehe auch Gujer 2007, 245 ff.). Das gesammelte Schmutzwasser<sup>53</sup> wird über die Kanalisation der zentralen Behandlungsanlage zugeführt, dort behandelt und dann in das natürliche Gewässer eingeleitet.

Das Bewertungsverfahren fokussiert auf die Abkopplung und Dezentralisierung von Teilgebieten des zentralen Schmutzwassernetzes. Die hiervon direkt betroffenen Anlagenbereiche sind das Kanalnetz, über das Schmutzwasser abgeleitet wird, sowie die dezentrale Anlagenstruktur, deren Ausbau simuliert werden soll. Auf diesen beiden Bereichen liegt damit auch das Hauptaugenmerk des Infrastrukturmodells.

Die zentrale Behandlungsanlage ist nur mittelbar von der Abkopplung einzelner Entsorgungseinheiten betroffen, soweit diese zu Auslastungsrückgängen in der Behandlungsanlage führen. Zwei gegenläufige Kosteneffekte können hierbei auftreten. Mengenabhängige Kosten wie beispielsweise Energiekosten aus dem Betrieb der Aggregate oder Kosten für sonstige Hilfsmittel, die je nach Verfahrenstechnik in den verschiedenen Reinigungsstufen verwendet werden, gehen bei Abkopplung von Entsorgungseinheiten zurück, aufgrund des damit einhergehenden Rückganges der in der zentralen Anlage zu behandelnden Schmutzwassermenge. Gleichzeitig können die spezifischen Behandlungskosten ansteigen. Bei sinkendem Schmutzwasseranfall steigt die Diskontinuität des Wasseranfalls in der Behandlungsanlage. Die relative Differenz zwischen Trockenwetterabfluss und Zustrom bei Regenereignis nimmt zu. Dadurch steigen die Kosten der Steuerung und Reinigung. Zudem kommt es zu Effizienzeinbußen im Anlagenbetrieb aufgrund der Unterschreitung optimaler Auslastungszustände der Anlagen (s. hierzu u. a. Leist 2007, 166 f.; Koziol 2004, 71 f.). Es wird angenommen, dass aufgrund der gegenläufigen Effekte der resultierende Kosteneffekt vergleichsweise gering

---

<sup>53</sup> Im Falle von Mischsystemen im Gemisch mit Regenwasser.

ist. Dies gilt umso mehr, je weniger Einwohner von der teilgebietlichen Abkopplung vom zentralen Netz im Rahmen der Dezentralisierung betroffen sind. Die angedeuteten Wirkungen bleiben deshalb im Bewertungsverfahren unberücksichtigt (s. hierzu auch Abschnitt 13.1.6).

Sonderbauwerke betreffen vor allem den Bereich der Regenwasserableitung. Hierunter zählen beispielsweise Regenrückhalte- oder Regenüberlaufbecken. Diese dienen der hydraulischen Entlastung zentraler Regen- und Mischwassersysteme bei starkem Regenwasseranfall. Aufgrund der Fokussierung auf den Bereich Schmutzwasser bleiben diese Bauwerke bei der Erstellung des Mengengerüsts unberücksichtigt.

## 7.1 Kanalnetz

### 7.1.1 Datenerhebung und -aufbereitung

Die Art und Qualität der Datenhaltung bei Ver- und Entsorgern ist sehr unterschiedlich. Die Bandbreite erstreckt sich von qualitativ hochwertiger GIS-gestützter digitaler Datenvorhaltung über analog vorliegendes Kartenmaterial bis hin zu groben Einschätzungen, die von ortskundigen Mitarbeitern der Unternehmen getroffen werden. Nicht selten treten unterschiedliche Qualitätsstufen der Datenhaltung in einem Entsorgungsgebiet parallel auf (Walther 2006).

Im Untersuchungsgebiet erfolgte die Erhebung der Netzdaten auf Grundlagen digitaler und analoger Daten, die vom Entsorgungsunternehmen zur Verfügung gestellt wurden. Die digitalen Daten wurden im CAD-Format (dgn-files) zur Verfügung gestellt. Sie werden in Form von Kacheln vorgehalten, die jeweils eine Fläche von einem km<sup>2</sup> des Entsorgungsgebietes abdecken. 68 Kacheln decken die erschlossene Fläche im Untersuchungsgebiet ab (linkes Bild in Abbildung 7-1). Die CAD-Daten enthalten Vektordaten mit Linienzügen (Polylines) sowie Beschriftungen und Symbole. Die Linienzüge zeichnen den Verlauf von Leitungen und Haltungen nach. Sie sind durch entsprechende Attribute näher spezifiziert. Bei den Kanälen wird unterschieden zwischen Schmutz-, Misch-, und Regenwasserkanälen<sup>54</sup>. Weitere Merkmale wie Durchmesser, Materialart und Fließrichtung sind als Bilddaten beigefügt (rechtes Bild der Abbildung 7-1). Zwischen den Bild- und den Vektordaten besteht keine Verknüpfung im Datenmodell. Diese kann nur visuell (analog) hergestellt werden.

---

<sup>54</sup> Die Attributverwendung ist in den gelieferten Daten uneinheitlich. Verwendet werden zwei unterschiedliche Klassifizierungsschlüssel. Für einen Teil der Kacheln lag die Codierung der Attributbedeutung in einer mitgelieferten Legende vor. Für eine zweite große Gruppe von Kacheln musste der Codierungsschlüssel durch Abgleich mit den Informationen aus den Bilddaten, unterstützt durch Sachbearbeiter des Unternehmens, entwickelt werden.

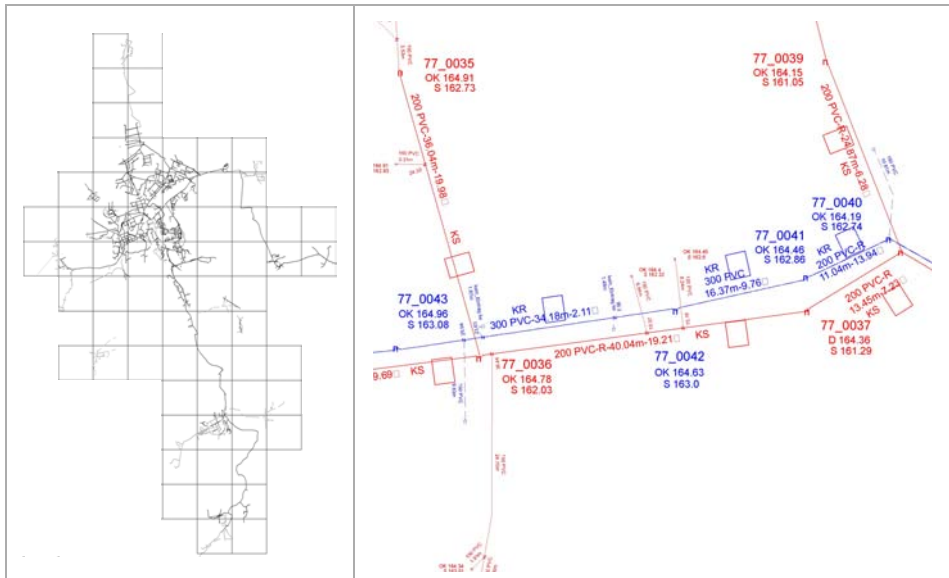


Abbildung 7-1: Ausgangsdaten zur Beschreibung der Netzdaten<sup>55</sup> (Datengrundlage: EWAG KAMENZ)

In der Datenaufbereitung wurden die CAD-Rohdaten zum Schmutzwassernetz (Schmutzwasserkanal, Mischwasserkanal) in ein GIS-fähiges Format umgewandelt. Hierzu wurden die dgn-files mit Hilfe von ARC GIS in shape-files transformiert. Um eine Verschneidung mit dem Siedlungsmodell im nachfolgenden Schritt zu ermöglichen, wurden die Daten unter Verwendung eines Referenz-Koordinatensystems georeferenziert<sup>56</sup>.

Nach GIS-technischer Datenaufbereitung erfolgte eine Vollständigkeitskontrolle der Netzdaten. Hierzu erfolgte zunächst ein Abgleich mit einem ebenfalls vorliegenden Übersichtsplan zum aktuellen Leitungsbestand, der als analoger Plan im Maßstab 1:25000 zur Verfügung gestellt wurde (Abwasserzweckverband Obere Schwarze Elster 2006). Dieser enthält Angaben zu den Hauptlinienführungen der Kanäle im Entsorgungsgebiet. Der Abgleich zeigte, dass die digitalen Daten das Leitungsnetz nahezu vollständig abbilden. Einzelne Leitungsabschnitte fehlen. Diese wurden unter Beachtung des in der analogen Karte dargestellten Trassenverlaufs ergänzt.

<sup>55</sup> In dem Bildausschnitt finden sich u.a. Angaben zum Leitungstyp (KS=Kanal Schmutzwasser, KR=Kanal Regenwasser), zum Nenndurchmesser (DN) und zum Material (z. B. 200 PVC... = DN 200, PVC-Rohr).

<sup>56</sup> Als Referenz-Koordinatensystem wurde eine transversale Mercator-Projektion mit Gauß-Krüger-Koordinaten unter Verwendung des Meridianstreifens mit der Kennziffer 5 (Zentralmeridian bei 15°) festgelegt. Als Referenzellipsoid wurde das Bessel-Ellipsoid verwendet



Beim Versuch, die Leitungsstränge im Detail nach zu verfolgen, zeigten sich einzelne Unplausibilitäten, die vermutlich auf Datenlücken oder Fehlattributierungen im Zuge der Digitalisierung älterer Netzpläne zurückzuführen sind. Hier erfolgten plausible Anpassungen. Einzelne kleinere Teilgebiete entsorgen ihr Abwasser in kleinere Gruppenkläranlagen. Die dort verlegten Kanäle wurden nicht mit betrachtet.

### 7.1.2 Kostenrelevante Merkmale

Mit der Kanallänge werden die Kanalkosten eines Entsorgungsgebietes maßgeblich festgelegt. Unter sonst gleichen Bedingungen ist vereinfacht davon auszugehen, dass die Kosten der Ableitung eines Gebietes proportional zur verlegten Kanallänge ansteigen.

Darüber hinaus wird die Höhe der Kosten von weiteren Faktoren beeinflusst. Halbach (2003, 16 ff.) nennt als weitere kostenrelevante Merkmale die Nennweite der Kanäle, die Verlegetiefe, die vorherrschenden Baugrundeigenschaften, die Anzahl benötigter Kontrollschächte sowie die Leitungsführung. Hierauf wird nachfolgend eingegangen. Darüber hinausgehende Einflussfaktoren wie z. B. Profilart, Rohr- und Schachtmaterial, Graben- und Verbauart werden von Sander (2003, 90) aufgeführt. Diese sind in den allgemein gehaltenen Kostenkennwerten implizit berücksichtigt, indem jeweils typische Ausprägungen angenommen sind. Eine tiefer gehende Auseinandersetzung mit diesen Faktoren ist der hier geforderten Konkretisierungsstufe nicht angemessen.

Ein weiteres zu beachtendes, kostenrelevantes Merkmal ist das Baualter der Kanäle. Dieses bestimmt in hohem Maße die zu erwartenden Erneuerungsaufwendungen, sofern unterstellt wird, dass der Zustand der Kanäle stark mit dem Baualter korreliert, wovon im Allgemeinen auszugehen ist.

#### 7.1.2.1 Kanallänge

Das erhobene Kanalnetz des Untersuchungsgebietes erstreckt sich über eine Gesamtlänge von 158 km, davon sind 105 km reine Schmutzwasserkanäle, 53 km sind Mischwasserkanäle. Letztere finden sich vor allem im Kernsiedlungsgebiet des Hauptortes (Abbildung 7-2).

Nach der ersten augenscheinlichen Plausibilitätskontrolle des Trassenverlaufs der Netzdaten(s. Abschnitt 7.1.1) erfolgt eine zweite Kontrolle durch Vergleich ermittelter einwohnerspezifischer Kanallängen mit Werten vorliegender Studien, die hierzu Aussagen auf vergleichbarer Raumbene machen. Westphal (2008, 183 ff.) stellt in ihrer Arbeit spezifische Leitungslängen bezogen auf vorherrschende Einwohner- oder Siedlungsdichten aus mehreren Untersuchungen auf unterschiedlichen Raummaßstabsebenen zusammen. Diese spezifischen Leitungslängen wurden für den Vergleich herangezogen (s. Tabelle 7–1). Dabei wurden den für das Untersuchungsgebiet ermittelten spezifi-

schen Kanallängen jeweils die Werte aus Westphal (2008) gegenübergestellt, die sich auf Gebiete vergleichbarer Dichteausrüstungen beziehen.

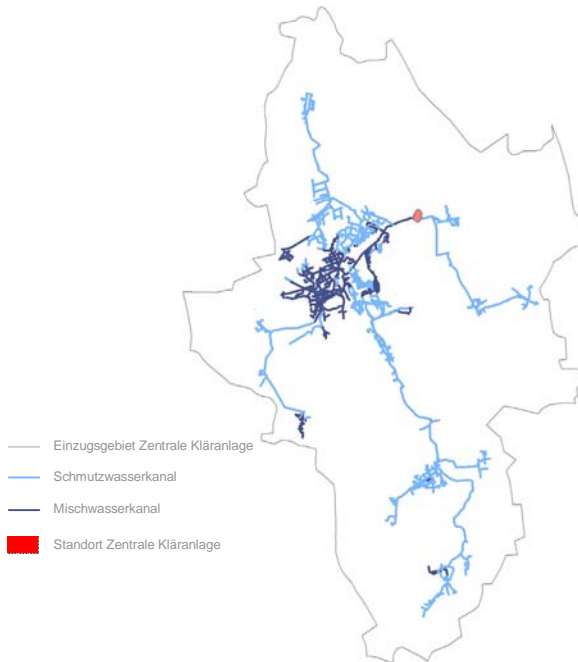


Abbildung 7-2: Erhobenes Schmutzwasserleitungsnetz im Untersuchungsgebiet

Die Angaben von Westphal (2008) zeigen, dass die Bandbreite an Ausprägungen spezifischer Kanallängen bei gegebener Dichte umso größer ist, je großmaßstäblicher die Raummaßstabsebene ist, auf die sich die Werte beziehen. Umspannt das Bezugsgebiet sehr große Raumeinheiten wie Bundesländer, so heben sich teilsräumlich zum Teil sehr große Dichteunterschiede durch die Mittelwertbildung bis zu einem gewissen Grad auf. Je kleinräumiger bzw. großmaßstäblicher das Gebiet ist, umso geringer kommt dieser Effekt zum Tragen. Es ist also nicht überraschend, wenn der im Untersuchungsgebiet auf Gemeindeebene gemessene Aufwand außerhalb der auf Landes- und Kreisebene angegebenen Wertebereiche liegt. Dies tritt in einem Fall auf. Die für die Einzelgemeinden sowie das Gesamtgebiet ermittelten Werte sind raummaßstäblich im Zwischenbereich zwischen den von Westphal (2008) aufgeführten Ebenen Kreis- und Ortslage anzusiedeln. Die im Untersuchungsgebiet berechneten Werte liegen alle innerhalb der von Westphal (2008) angegebenen Wertebereiche der beiden genannten Ebenen. Es lassen sich mit dem Vergleich also keine Unplausibilitäten aufzeigen.

Tabelle 7-1: Plausibilitätsbetrachtung – spezifische Leitungslänge

| Ausprägungen im Untersuchungsgebiet  |                                  |                                      |                                   |      | Vergleichswerte aus vorliegenden Studien   |                             |                                |
|--|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|------|--|-----------------------------|--------------------------------|
| Gemeinde-<br>gebiet  | Einwoh-<br>nerdichte<br>(EW/km²) | Sied-<br>lungsdic<br>hte<br>(EW/km²) | spezifische<br>Leitungs-<br>länge |      | Wertebereiche spezifischer Leitungs-<br>längen auf unterschiedlichen<br>Raummaßstabsebenen |                             |                                |
|  |                                  |                                      | m/EW                              | m/Wo | Land <sup>1)</sup><br>m/EW   | Kreis <sup>2)</sup><br>m/EW | Ortslage <sup>3)</sup><br>m/Wo |
| Kamenz   | 341                              | 1.983                                | 6,2                               | 12,6 | 6-7,5  | 4,5-8,5                     | 5-25                           |
| Elstra   | 96                               | 1.351                                | 10,0                              | 23,6 | 7,5-9,5  | 6-10,5                      | 10-50                          |
| Nebel-<br>schütz   | 55                               | 934                                  | 7,5                               | 22,3 | 8-9,5  | 6,5-13                      | 10-50                          |
| Gesamtge-<br>biet <sup>57</sup>  | 207                              | 1.759                                | 6,8                               | 14,3 | 7-7,5  | 4,5-10,5                    | 5-50                           |
| <i>1) ermittelt aus „Siedlungsdichte und Länge der öffentlichen Kanalisation (...) nach Bundesländern“ (Auswertungen von Landesdaten der amtlichen Statistik durch Westphal (2008, 184))</i>   |                                  |                                      |                                   |      |  |                             |                                |
| <i>2) ermittelt aus „Siedlungsdichte und spezifische Netzlänge der Kanalisation je Einwohner nach Kreisen in Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt“ (Auswertungen von Landesdaten der amtlichen Statistik durch Westphal (2008, 185))</i>  |                                  |                                      |                                   |      |  |                             |                                |
| <i>3) ermittelt aus in Westphal (2008, 187) aufbereiteten Ergebnissen von Untersuchungen zu Dichte und Leitungslängen nach Siedlungstypen von Doubek (2001). Die angegebene Bandbreite entspricht dem Wertebereich folgender von Doubek 2001 unterschiedenen Siedlungstypen: Zeile „Kamenz“: Stadt, Dorf kompakt, Rand des Hauptorts; Zeile „Elstra“ und Zeile „Nebelschütz“: Dorf kompakt, Rand des Hauptorts, weiteres Umland; Zeile „Gesamtgebiet“: Stadt, Dorf kompakt, Rand des Hauptorts, weiteres Umland.</i> |                                  |                                      |                                   |      |  |                             |                                |

7.1.2.2 Nennweite

Angaben zur Nennweite der Kanäle liegen für das Betrachtungsgebiet in Form von Beschriftungen und Symbolen vor. Dies ermöglicht ein visuelles „Screening“ der realisierten Nenndurchmesser im Entsorgungsgebiet.

In den dörflichen Ortslagen sind Hauptstränge der Schmutzwasserkanäle überwiegend mit DN 200 ausgeführt. In den Nebensträngen sind verstärkt Nenndurchmesser von DN 150 zu erkennen. In Kerngebieten des Hauptortes, das überwiegend im Mischsystem entwässert wird, sind vermehrt DN 300 Kanäle anzutreffen. Damit werden die empfohlenen Minstdurchmesser der Richtlinien für die hydraulische Berechnung von Schmutz-, Regen- und Mischwasserkanälen (ATV A 118) teilweise unterschritten. Dort werden für Schmutzwasserkanäle DN 250 „aus betrieblichen Gründen“ als Mindestnennweite empfohlen, für Regen- und Mischwasserkanäle mindestens DN 300. Vermerkt ist dort aber auch, dass in begründeten Fällen (u. a. geringer Abfluss in ländlich strukturierten Gebieten) auch kleinere Querschnitte gewählt werden können, möglichst aber nicht unter DN 200 (siehe hierzu auch Albrecht 2001, 59).

<sup>57</sup> ohne angeschlossenes Teilgebiet der Gemeinde Schönteichen (s. Abschnitt 5.2)

Aufgrund der fehlenden Verknüpfung zu den Vektordaten des Leitungsnetzes (s. Abschnitt 7.1.1) entziehen sich die in Form von Beschriftungen und Symbolen vorliegenden Angaben zum Nenndurchmesser nach dem Gebot der Verhältnismäßigkeit einer Vollerfassung und Analyse. Aus diesem Grunde erfolgt die Berücksichtigung der Nenndurchmesser im Mengengerüst pauschal unter Beachtung der in der zitierten Richtlinie empfohlenen Nennweite für Schmutzwasser. Für das Gesamtgebiet wird die Nennweite mit dem Referenzwert DN 250 festgelegt. Die Verwendung eines einheitlichen Nenndurchmessers für das Gesamtnetz erleichtert die Modellierungsarbeit erheblich. Lokale Unter- beziehungsweise Überschätzungen der Nenndurchmesser werden dabei in Kauf genommen. Auswirkungen dieser Vereinfachung auf die mit dem Verfahren erzielbare Ergebnisse werden im Rahmen der Empfindlichkeitsprüfung mit reflektiert (s. Abschnitt 12.2).

### 7.1.2.3 Verlegetiefe

Die Verlegetiefe von Kanälen wird maßgeblich von der Höhenlage der Einleitstellen (z. B. Kellereinläufe bei Schmutzwassereinleitung), dem Abstand zwischen Einleitstelle und Kanal sowie den Gefälleverhältnissen im Kanalnetz bestimmt (s. Hosang, Bischof, 1998, 106 ff.). Abhängig vom abgeleiteten Medium (Schmutz, Misch- oder Regenwasser) wird das abzuleitende Wasser an unterschiedlichen Stellen eingeleitet. Hosang und Bischof (1998, 107) nennen als Orientierungswerte für einzuhaltende Mindesttiefen für Schmutz- und Mischwasser 2,5 m für Landgemeinden bis 3,0 m für Gebiete mit breiten Großstadtstraßen.

Eine augenscheinliche stichprobenartige Überprüfung realisierter Sohlenhöhen der Schächte im Untersuchungsgebiet zeigte, dass Verlegetiefen von 2,5 m in der Regel nicht überschritten werden. Für das Untersuchungsgebiet wird deshalb pauschal eine Verlegetiefe von 2,5 m angesetzt.

### 7.1.2.4 Baugrundeigenschaften

Im Baugewerbe werden Böden nach der Lösbarkeit und nach erdbautechnischen Eigenschaften in insgesamt sieben Bodenklassen (Boden- und Felsklassen) eingeteilt. Dies ist in VOB Teil C „Erdarbeiten“ geregelt. Richtwerte werden üblicherweise auf einen anstehenden Boden der Bodenklassen 3 bis 5 (leicht lösbare bis schwer lösbare Bodenarten) angegeben, die durchschnittlichen Bodenverhältnissen entsprechen (Sander 2003, 90; Halbach 2003, 18). Für das Betrachtungsgebiet liegen keine Hinweise vor, die ein Abweichen von den Standardwerten begründen. Deshalb das Vorliegen von Bodenklasse 3 bis 5 unterstellt<sup>58</sup>.

---

<sup>58</sup> Vorliegende Gutachten, die Kostenvergleichsrechnungen in Teilgebieten des Entsorgungsgebietes zum Gegenstand haben, gehen ebenfalls von Standardwerten bezogen auf BK 3-5 aus (Ingenieurbüro Bokatec 2003, Planungsbüro Abwasser 2002).

#### 7.1.2.5 Kontrollschächte

Ursprünglich waren Haltungslängen aufgrund begrenzter Möglichkeiten der Reinigungstechnik auf 50 m begrenzt. Testerhebungen, durchgeführt von Siedentop et al. (2006) in Teilgebieten der brandenburgischen Region Havelland Fläming, zeigen, dass sich Haltungslängen im Bestand diesem Wert annähern. Die erhobenen Werte der genannten Erhebung schwanken in der Größenordnung zwischen 40 m und 50 m<sup>59</sup>. Modernere Reinigungstechnologien wie z. B. Hochdruckspülungsverfahren erlauben inzwischen deutlich größere Haltungslängen Halbach (2003, 22). Bei geraden Abschnitten werden Längen von 40 m bis 100 m als ausreichend erachtet. Zusätzlich sind Schächte bei Richtungswechsel, Gefällewechsel, Materialwechsel, Kanalzusammenführungen sowie bei Sonderbauwerken vorzusehen (Gujer 2007, 253; Imhoff 2007, 16).

Aus den für das Untersuchungsgebiet vorliegenden Daten kann die Anzahl der Schächte nicht unmittelbar entnommen werden. Die Vektordaten enthalten lediglich Linienzüge zu Schachtumrandungen. Hierbei werden aber keine einheitlichen Radien verwendet, die, z. B. über mittlere Umrandungslängen, entsprechende Analysen zur Erhebung der Schachtanzahl zuließen. Die in den Karten mit angegebenen Beschriftungen und Symbole, die u. a. die Lage von Schächten beschreiben, entziehen sich aufgrund der oben bereits benannten fehlenden Verknüpfungen zum Datenmodell einer großflächigen Analyse. Unter Beachtung der historischen Vorgaben aus der Planungsliteratur und den Ergebnissen der zitierten empirischen Erhebungen wird deshalb für das Gesamtnetz eine Haltungslänge von 50 m angenommen.

#### 7.1.2.6 Leitungsführung

Leitungen können im Straßenbereich oder im Gelände verlegt sein. Bei Verlegung im Straßenbereich entstehen Kosten für den Aufbruch vorhandener Straßen und deren Wiederherstellung. Bei der Verlegung im Gelände entstehen lediglich Kosten für Erdarbeiten.

Die vorliegenden Netzdaten im Entsorgungsgebiet lassen eine entsprechende Unterscheidung nicht zu. Eine Einschätzung auf Grundlage einer Inaugenscheinnahme der Überlagerung vorliegender Netzdaten mit der DTK25 (V) zeigt, dass der Leitungsverlauf überwiegend dem Straßenverlauf folgt. Dies lässt vermuten, dass ein überwiegender Teil der Leitungen im Straßenraum verlegt ist. Es wird deshalb pauschal von einer Verlegung im Straßenraum ausgegangen.

#### 7.1.2.7 Baualter

Zur Beschreibung des Baualters der verlegten Kanäle liegen Angaben vom Entsorgungsunternehmen vor. Dabei handelt es sich um Daten aus der Anlagenbuchhaltung,

---

<sup>59</sup> Telefonische Auskunft von Jörg Walther, BTU Cottbus, Lehrstuhl Stadttechnik am 11.03.2008.

die Aussagen zum Anschaffungsdatum einzelner Leitungsabschnitte machen. Damit lassen sich Teile des verlegten Netzes datieren. Dies betrifft insbesondere das im Hauptort verlegte Netz. Die Lage der aufgeführten Leitungsabschnitte ist mit Zuordnung zum Straßenzug angegeben, innerhalb dessen der Kanal verlegt ist, sodass eine überschlägige Verortung möglich ist. Zusätzlich zu diesen Angaben liegen Einschätzungen zum vorherrschenden Kanalbaualter in einzelnen Gebietsausschnitten vor, meist auf der Ebene von Ortslagen, die von Mitarbeitern des Entsorgungsunternehmens auf Grundlage studentischer Arbeiten getroffen wurden. Anzumerken ist allerdings, dass insbesondere erstgenannte Quelle das Anschaffungsdatum von Kanälen und damit das Baualter erst ab 1990 in Jahresangaben angibt. Alle älteren Kanäle werden als „Altbestand“ ausgewiesen.

Auf dieser Grundlage konnte eine überschlägige Einschätzung der kleinräumigen Baualtersstruktur der Kanäle im Entsorgungsgebiet erfolgen. Bei Datenlücken wurde so Abhilfe geschaffen, dass das Baualter eines betroffenen Netzabschnittes entsprechend des nächstgelegenen Abschnitts mit bekanntem Baualter angenommen wurde.

Die Vergabe der Baualter erfolgte innerhalb größerer Gebietsausschnitte (Nachbarschaften, Ortslagen, Quartiere, je nach Datenlage). Lagen kleinräumig abweichende Altersangaben vor, folgte die Festlegung des Baualters in dem betreffenden Ausschnitt nach dem dominierenden Baualter. Im Ergebnis zeigt sich die in Abbildung 7-3 dargestellte Baualtersstruktur im Kanalnetz des Untersuchungsgebietes.

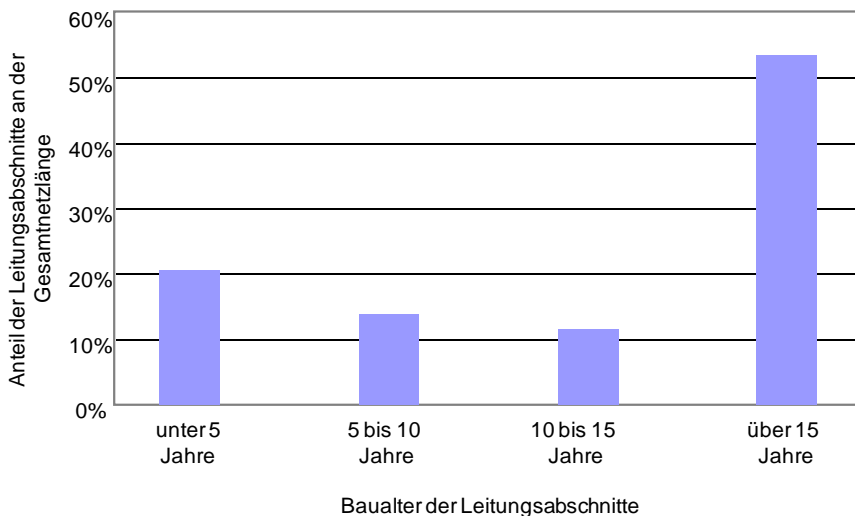


Abbildung 7-3: Ermittelte Baualtersstruktur der Kanäle (Schmutz- und Mischwasser) im Untersuchungsgebiet

Insgesamt befindet sich im Untersuchungsgebiet ein vergleichsweise neues Netz. Nahezu die Hälfte der Leitungsstrecken wurde nach 1990 gebaut, 54 % der Kanäle vor 1990.

Die räumliche Verteilung der Kanäle der unterschiedenen Baualtersklassen im Untersuchungsgebiet zeigt Abbildung 7-4. Entsorgungseinheiten mit älteren Kanälen finden sich vor allem im Siedlungskern des Hauptortes. Neue Kanäle der jüngeren Baualtersklassen finden sich dagegen überwiegend im weiteren Umland. Dies deckt sich mit den Beobachtungen, die bei der Betrachtung statistischer Daten auf Bundesebene zur Entwicklung von Anschlussgraden gemacht wurden. Demnach fand der Netzausbau in den zurückliegenden Jahren überwiegend in kleinen, gering verdichteten Gemeinden statt (Abschnitt 2.4).

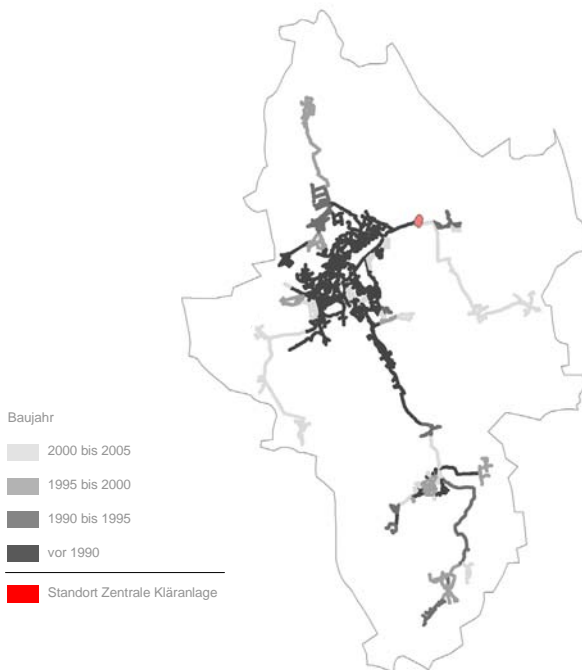


Abbildung 7-4: Kanalnetz nach Baualtersklassen

## 7.2 Zentrale Behandlungsanlage

Die zentrale Abwasserbehandlung erfolgt in Deutschland wie auch in Sachsen zu nahezu 100 % in Abwasserbehandlungsanlagen mit biologischer Reinigungsstufe (Statis-

tisches Bundesamt 2006b). Hierbei kommen Anlagen mit sehr unterschiedlichen Ausbaugrößen zum Einsatz<sup>60</sup>.

Die Abwasserverordnung teilt Behandlungsanlagen nach Anschlusswerten in 5 Größenklassen<sup>61</sup> ein. Abhängig von der Größenklasse, in die eine Anlage fällt, gelten unterschiedliche Grenzwerte zulässiger Schadstofffrachten im gereinigten Abwasser (AbvW 2009: Anhang 1). Der Anschlusswert wird als Einwohnergleichwert (EGW) angegeben (zur begrifflichen Bestimmung von EGW s. Abschnitt 7.4). Über die Hälfte der in Deutschland an die öffentliche Kanalisation angeschlossenen Einwohner sind an Anlagen mit einer Ausbaugröße über 100.000 EGW angeschlossen, 38 % an Anlagen einer Größe zwischen 10.000 und 100.000 EGW. Über kleinere Anlagen mit bis zu 10.000 EGW, die bezogen auf die Anzahl der Anlagen am stärksten zu Buche schlagen (nahezu 80 % der Anlagen insgesamt), entsorgen lediglich 9 % der in Deutschland angeschlossenen Einwohnergleichwerte (Statistisches Bundesamt 2006b).

Die im Nord-Osten des Hauptortes des Untersuchungsgebietes gelegene zentrale Kläranlage verfügt über einen Anschlusswert von 27.000 EGW. Damit fällt sie in die Größenklasse 4 der Einteilung nach AbvW (2009: Anhang 1). Die Abwasserreinigung erfolgt im mechanisch-biologischen Verfahren mit Denitrifikation und Phosphorelimination (Freistaat Sachsen 2006, 20). Zwischen 2002 und 2004 erfolgte eine umfangreiche Sanierung und Erweiterung der vorhandenen damals 15 Jahre alten Anlage (DIW Bau GmbH 2006), sodass sie in weiten Teilen als neuwertig einzustufen ist.

### 7.3 Dezentrale Behandlungsanlagen

Im Rahmen dieser Arbeit werden Hauskläranlagen für Einzelgebäude als alternatives System zur zentralen Anlage betrachtet (s. Abschnitt 1.4.1). Behandlungsanlagen dieser Größenklasse fallen unter die Kategorie der Kleinkläranlagen (KKA). „Kleinkläranlagen sind Anlagen zur Behandlung von häuslichem und ähnlichem Abwasser, die für eine Belastung von weniger als 3 kg biochemischem Sauerstoffbedarf (BSB<sub>5</sub>) oder weniger als 8 m<sup>3</sup> täglich bemessen sind. Das entspricht dem Abwasseranfall von etwa

---

<sup>60</sup> „In der Abwasserbehandlung wird primär zwischen mechanischen und biologischen Verfahren unterschieden. Bei mechanisch wirkenden Abwasserbehandlungsanlagen (ohne biologische Behandlung) werden ungelöste Stoffe des Abwassers durch mechanische Verfahren entfernt. In biologischen Anlagen erfolgt die Entfernung von gelösten Schmutzstoffen, Kolloiden und Schwebstoffen aus Abwasser durch aeroben und/oder anaeroben Abbau, Aufbau neuer Zellsubstanz und Adsorption an Bakterienflocken oder biologischen Rasen. Es können sich weitergehende Verfahrensschritte (...) anschließen, z. B. Phosphatreduktion, Nitrifikation: Oxydation von Ammonium durch Mikroorganismen, normalerweise bis zum Endprodukt Nitrat, Denitrifikation: Reduktion von Nitrat oder Nitrit durch Bakterien im Wesentlichen zu gasförmigem Stickstoff.“ Statistisches Bundesamt 2006, C Begriffsbestimmungen. Siehe hierzu auch Imhoff 2007, 91 ff.

<sup>61</sup> GK1: bis 1.000 EGW, GK 2: 1.000 bis 5.000 EGW, GK 3: 5.000 bis 10.000 EGW, GK 4: 10.000 bis 100.000 EGW, GK 5: über 100.000 EGW (AbvW 2009, Anhang 1)



50 Einwohnern“ (Freistaat Sachsen 2007, 2). Die Abwasserverordnung des Bundes schreibt grundsätzlich Kleinkläranlagen mit biologischer Reinigungsstufe vor (AbvW 2009). Hierzu stehen unterschiedliche Techniken zur Verfügung.

Die zugelassenen Systeme sind in der Regel mehrstufig aufgebaut. In der ersten Stufe erfolgt die Vorreinigung des Abwassers in Mehrkammergruben. Hier werden Feststoffe abgetrennt (mechanische Reinigungsstufe). Bei der nachfolgenden Reinigungsstufe wird zwischen technischen Verfahren und naturnahen Verfahren unterschieden (DIN 4261, Teil 1 bis 4). Zu den technischen Verfahren zählen Belebtschlammverfahren, Tropfkörperanlagen, Tauchkörperanlagen, Festbettreaktor, SBR<sup>62</sup> und Mikrofiltration (Membrananlage). Teich und Pflanzenbeetanlagen sind Beispiele für naturnahe Verfahren (u. a. Imhoff 2007, 373 ff.; Hosang, Bischof 1998, 72 ff.; Fehr 1992, 3-19 ff.; BusseMF 2009).

Die Eignung der genannten Verfahrensvarianten hängt von den spezifischen örtlichen Bedingungen ab. Von Bedeutung sind vor allem die Dynamik des Abwasseranfalls, mögliche Ausprägungen von Schmutzfrachtschwankungen sowie das Flächenangebot (Otto 2000, 163, zitiert in Rendigs, Tranow 2006, 123). Aufgrund der Vielfalt der vorliegenden Systemvarianten sind die Einsatzbereiche von Kleinkläranlagen breit und die Restriktionen in technologischer Hinsicht gering. Flächenintensive Pflanzen- und Teichanlagen eignen sich insbesondere in ländlichen Gebieten mit hohen Freiflächenpotenzialen. In städtisch geprägten Gebieten können technische Verfahren zum Einsatz kommen. Rendigs, Tranow (2006, 189 ff.) zeigen, dass in moderat verdichteten städtischen Mehrfamilienhausgebieten meist ausreichend Flächenpotenziale für konventionelle technische Verfahren vorhanden sind. Restriktionen sehen sie überraschenderweise lediglich in vergleichsweise dicht bebauten Einfamilienhausgebieten, wo erforderliche Abstandsflächen zum Teil nicht eingehalten werden können. Dabei berücksichtigen sie aber keine neuen Entwicklungen, wie sie inzwischen beispielsweise mit Verfahren der auf Mikrofiltration basierenden Anlagen (Membranverfahren) vorliegen (Abbildung 7-5). Diese arbeiten nahezu geruchsfrei und können bei Bedarf auch in die Gebäude selbst integriert werden. Darüber hinaus zeichnen sich diese Anlagen durch sehr gute Reinigungsleistungen aus. So ist Herstellerangaben zu entnehmen, dass damit Reinigungsleistungen zu erzielen sind, die unterhalb der geforderter EU-Grenzwerte für Badegewässer liegen und somit auch eine Ableitung des gereinigten Abwassers in Wasserschutzzonen genehmigungsfähig ist (BusseMF 2009).

---

<sup>62</sup> „Sequencing batch reactor“ (SBR); wird übersetzt mit „sequentielles biologisches Reinigungsverfahren“ (wasser-wissen 2009).

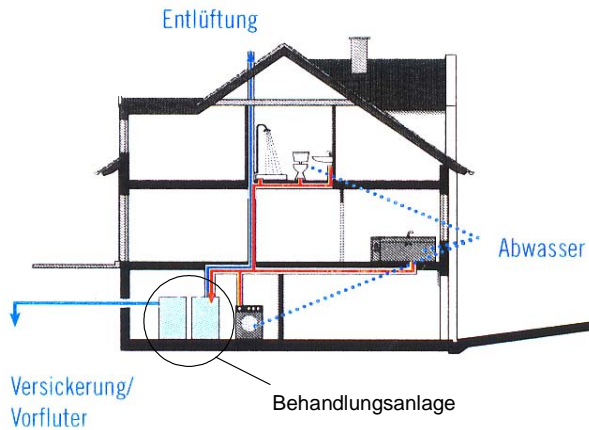


Abbildung 7-5: Schemazeichnung einer KKA-Komplettlösung (Membranverfahren) für Ein- und Mehrfamilienhäuser mit Keller (verändert nach BusseMF 2009)

Ähnlich wie bei den größeren Anlagen werden die spezifischen Kosten von Kleinkläranlagen unabhängig von der verfahrenstechnischen Ausgestaltung in hohem Maß von der Anlagengröße bestimmt. Dies zeigen vorliegende Kostenkennwerte (Halbach 2003, 48), Angaben aus Hersteller-Preislisten für KKA (s. Hawlik 2008, 25 f.) sowie vorliegende Auswertungen von Angebotspreisen für KKA (Ingenieurbüro Bokatec 2003, Planungsbüro Abwasser TW2002). Die in den genannten Quellen angegebenen Werte zeigen, dass zwischen der Ausbaustufe 5 EW bis 15 EW mit steigender Ausbaugröße ein deutlicher Rückgang der spezifischen Anlagenkosten zu verzeichnen ist. Bei Steigerung der Ausbaugröße darüber hinaus sind nur noch geringe Rückgänge der spezifischen Kosten zu erreichen (beispielhaft Abbildung 7-6).

Das Mengengerüst für Kleinkläranlagen unterscheidet deshalb Kleinkläranlagen unterschiedlicher Ausbaugröße. Eine Spezifizierung der Verfahrenstechnik wird nicht vorgenommen. Die Unterscheidung nach Ausbaugröße erfolgt unter Beachtung der mittleren Gebäudegröße (Wohnung/Gebäude) der im Modell verwendeten Gebäudetypen (s. Abschnitt 6.3.3.1, Tabelle 6-12) sowie vereinfachter Annahmen zur Wohnungsbelegung. Die vorgenommenen Festlegungen sind in Tabelle 7-2 zusammengefasst.

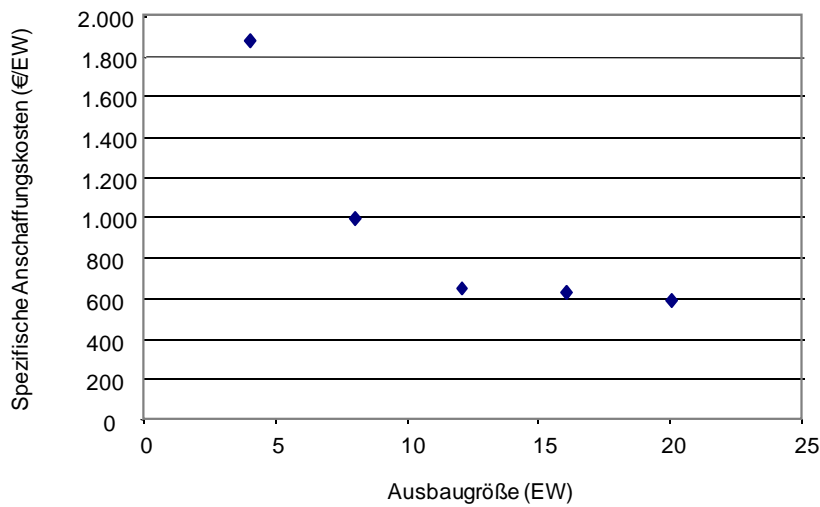


Abbildung 7-6: Spezifische Anschaffungskosten von KKA nach Ausbaugröße. Dargestellt sind Mittelwerte für Anlagenpreis incl. Einbau, ermittelt aus Angebotsunterlagen für KKA mit vergleichbarem Leistungsumfang, aber unterschiedlicher Bauart und Verfahrenstechnik (Quelle: Bokatec 2003)<sup>63</sup>

Tabelle 7-2: Zuordnung von KKA-Typen zu den Modellgebäudetypen

| Anlagentyp | Ausbaugröße (EW) | Gebäudetyp <sup>64</sup>  | Wohnungsanzahl<br>(überschlägig) |
|------------|------------------|---------------------------|----------------------------------|
| KKA-Klein  | 5                | EZFH (G31, G32, G33)      | 1-2                              |
| KKA-Mittel | 15               | MFH klein (G11, G12, G21) | 4-5                              |
| KKA-Groß   | größer 15        | MFH groß (G22)            | 6 und mehr                       |

Neben den in Tabelle 7–2 getroffenen Festlegungen werden Annahmen bezüglich möglicher Varianten der Einleitung des gereinigten Abwassers getroffen. Hier wird zwischen direkter und indirekter Einleitung unterschieden. Bei direkter Einleitung wird das behandelte Abwasser entweder unmittelbar in ein oberirdisches Gewässer oder durch Verbringung in den Untergrund (Versickerung) in das Grundwasser eingeleitet (Kleinkläranlagenverordnung 2007, § 1 (2)). Indirekte Einleitung erfolgt in der Regel über kleinere (Teil-)Ortsnetze (Jeschke, Fritsch 2007).

<sup>63</sup> In der zitierten Auswertung sind Tropfkörper-, Festbett-, SBR- und Wirbel-Schwebbett-Verfahren berücksichtigt.

<sup>64</sup> Bei den Gebäudetypen 4.1 (Gewerbe) und 4.2 (Gebäude mit besonderer funktionaler Prägung) (s. Abschnitt 6.1, Tabelle 6-1) werden KKA-Typen entsprechend der Flächengröße unter Beachtung der angenommenen Einwohnergleichwerte (s. Abschnitt 7.4) festgelegt.

Im Mengengerüst werden eine Variante der unterirdischen Direkteinleitung über eine Drainageleitung und eine Variante der indirekten Einleitung betrachtet. Im ersten Fall, der den Referenzfall darstellt, wird angenommen, dass ausreichend Flächen zur Einleitungen vorhanden sind. Für den Fall der indirekten Einleitung, der als Variante im Rahmen der Empfindlichkeitsuntersuchungen mit betrachtet wird (s. Abschnitt 12.2), wird eine vorhandene Regenwasserkanalisation unterstellt. Diese liegt großflächig im Untersuchungsgebiet an.

Die genannten Varianten weisen verschiedene Ausbaugrößenabhängigkeiten auf. So ist die Länge der Drainageleitung abhängig von der einzuleitenden Wassermenge. Die Länge von Ableitungsrohren wird dagegen lediglich von der Lage des Kanals, in den eingeleitet wird, bestimmt und ist ausbaugrößenunabhängig. Für das Mengengerüst werden hierzu Annahmen von Planungsbüro Abwasser TW (2002) übernommen. Diese setzen eine mittlere Kanallänge von 10 m für die oberirdische Einleitung an und nehmen zusätzlich einen Kontrollschacht an. Bei der unterirdischen Einleitung wird eine Drainagelänge von 6 bis 10 m je angeschlossenem EGW angenommen.

## 7.4 Einwohnergleichwerte

„Ein Einwohnergleichwert (EG, auch EW, E, EGW) entspricht der Zahl der Einwohner, deren tägliches Abwasser nach Menge oder Verschmutzungsgrad dem Abwasser aus einem gewerblichen oder industriellen Betrieb oder aus öffentlichen Einrichtungen gleichzusetzen wäre“ (Hosang, Bischof 1998, 4)<sup>65</sup>.

In Wohngebäuden ergeben sich die Einwohnergleichwerte aus der Anzahl der Einwohner, die das Gebäude bewohnen. Für Nichtwohngebäude werden Annahmen getroffen. In der Planungsliteratur werden hierzu Empfehlungen anzusetzender Äquivalenzwerte gegeben (stellvertretend Hosang, Bischof 1998, 5 ff.). Diese differieren jedoch stark in Abhängigkeit von der jeweiligen Nutzungsart und Nutzungsintensität. Diese Merkmale werden im Siedlungsmodell nicht berücksichtigt. Deshalb wird ein undifferenziertes Vorgehen gewählt und pauschal angenommen, dass 100 m<sup>2</sup> Gebäudegrundfläche Nichtwohnnutzung einem Einwohnergleichwert entspricht.

Wird dieser Wert auf den Nichtwohnungsbau angewendet, errechnen sich im Ausgangszustand insgesamt 3.083 EGW, die im Einzugsbereich der zentralen Kanalisation liegen (unter Berücksichtigung der in Kapitel 8 vorgenommenen Zuordnung angeschlossener Gebäude zum Leitungsnetz). Dies entspricht 14 % aller EGW des betrachteten Einzugsbereichs (mit den Wohngebäuden sind weitere 18.732 EGW angeschlossen). Aus der amtlichen Statistik der öffentlichen Abwasserentsorgung können hierfür, bezogen auf das Land Sachsen, entsprechende Anteile von 23 % entnommen werden

---

<sup>65</sup> In dieser Arbeit wird hierfür die Abkürzung EGW verwendet.

(eigene Berechnungen auf Grundlage von Statistisches Bundesamt 2006b, Tabelle 10). Hieraus ergibt sich eine Abweichung von 9 %-Punkten. Angesichts der sehr groben Annäherung des hier verwendeten Pauschalansatzes ist der berechnete Wert eine akzeptable Annäherung an den statistischen Wert.

## 8 Bezugsmodell

Im Siedlungsmodell wird auf Grundlage einer gebäudetypologischen Beschreibung von Gebäudegrundrissflächen die kleinräumige Wohnungs-, Einwohner- und Gebäudeverteilung abgebildet (s. Kapitel 6). Damit sind wesentliche Parameter der Nachfrageseite beschrieben: Einwohner, die Schmutzwasser produzieren, Wohnungen, auf die sich Einwohner verteilen und Gebäude, welche die kleinsten Anschlusseinheiten darstellen. Diese Angaben liegen mit dem Siedlungsmodell als raumbezogene Flächendaten vor, jeweils bezogen auf die abgegrenzten Gebäudepolygone. Das Infrastrukturmodell beschreibt die Länge, Art und Lage der anliegenden Kanäle, über die das Schmutzwasser gesammelt und zur zentralen Behandlungsanlage abgeleitet wird. Damit kann die Physis des Anlagenangebotes der Schmutzwasserableitung quantifiziert werden. Die Netzdaten liegen als raumbezogene Liniendaten vor. Durch die Verwendung eines Geografischen Informationssystems wird eine Projektionsfläche zur Abbildung und Datenhaltung der beiden Module Siedlungsmodell und Infrastrukturmodell erzeugt. Damit können die Daten beider Module räumlich überlagert werden. Eine Verknüpfung der Daten ist bislang noch nicht hergestellt. Dies ist aber erforderlich, um Aussagen zum Erschließungsaufwand in der gebotenen Kleinräumigkeit treffen zu können. Diese Verknüpfung herzustellen ist Gegenstand des Moduls Bezugsmodell.

Zunächst werden unterschiedliche Ansätze der Herstellung des Bezugs zwischen Siedlungsdaten und Netzdaten diskutiert (Abschnitt 8.1), bevor die einzelnen Schritte des gewählten Ansatzes beschrieben werden (Abschnitte 8.2 ff.).

### 8.1 Konzeption

Als Ausgangsdaten der Verknüpfungsaufgabe liegen, wie oben dargestellt, Gebäudepolygone mit Informationen zu Nachfrageparametern und Liniendaten mit Informationen zum Anlagenangebot vor.

Die Liniendaten bilden den Teil des Kanalnetzes ab, der zur öffentlichen Kanalisation zählt. Dies ist der Bereich, der in den Verantwortungsbereich der öffentlichen Abwasserentsorgung fällt. Die hiervon abgehenden, auf den Grundstücken verlegten, Hausanschlussleitungen, welche die Verbindung zu den Gebäuden herstellen, liegen im Verantwortungsbereich der Grundstückseigentümer. Hierzu liegen keine Daten vor. Die typisierten Gebäudepolygone bilden alle identifizierten Gebäude ab, die innerhalb der Gemeinden oder den Ortsteilen des betrachteten Entsorgungsgebietes liegen. Nicht alle Gebäude sind an die Kanalisation des zentralen Systems angeschlossen. Zum Teil verfügen sie über dezentrale Anlagen, zum Teil bestehen semizentrale Lösungen für einzelne Ortslagen, die nicht durch entsprechende Überleitungen mit dem hier betrachteten zentralen Netz verknüpft sind. Letztere können leicht identifiziert und ausgeschlossen werden. Sie sind von der gestellten Modellierungsaufgabe, der Simulation des Umbaus des zentralen Netzes, nicht betroffen. Schwieriger ist die Erkennung

nicht angeschlossener Gebäude innerhalb von Ortslagen, in denen das zentrale Netz anliegt, die aber aus demselben Grund außerhalb der Systemgrenzen anzusehen sind.

Als erste Aufgabe gilt es deshalb, eine Lösung zu finden, um die Gebäude zu identifizieren, die an die Kanalisation angeschlossen sind, bevor im zweiten Schritt ein Bezug zwischen Kanalaufwand und den angeschlossenen Gebäuden hergestellt wird. Hierzu sollen im Folgenden unterschiedliche Möglichkeiten der Herstellung des Bezugs dargestellt und hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Eignung für die hier gestellte Modellierungsaufgabe diskutiert werden.

### 8.1.1 Räumliche Überlagerung von Siedlungsflächen mit Kanälen

Vorliegende Arbeiten, die versuchen, Infrastrukturaufwendungen unter Nutzung des Stadtstrukturtypenansatzes abzubilden, nutzen hierzu stadtstrukturtypische Ausstattungsparameter. Diese geben spezifische Netzlängen innerhalb von Baublöcken an, abhängig von der dort vorherrschenden Bebauungsform bzw. der anliegenden Dichte. Diese Ausstattungsparameter werden entweder theoretisch im Rahmen entsprechender Modellüberlegungen ermittelt (z. B. Ecoplan 2000; Buchert et al. 2004) oder sie werden empirisch innerhalb realer Gebietsausschnitte erhoben (z. B. Deilmann et al. 2001; Siedentop et al. 2006). Im Falle einer empirischen Ermittlung erfolgt dies in den genannten Studien am Beispiel ausgewählter Gebiete durch Überlagerung der Siedlungsstrukturtypenkartierung mit verfügbaren Netzdaten von Entsorgern. Hierzu werden möglichst idealtypische Vertreter des jeweiligen Strukturtyps ausgewählt. Leitungsabschnitte werden diesen Einheiten dann zugeordnet, wenn sie innerhalb der abgegrenzten Strukturtypeneinheit liegen, also eine räumliche Überlagerung aufweisen. An den Rändern der Erhebungseinheiten treten Zuordnungsschwierigkeiten auf, wenn Leitungsstränge im Straßenraum verlegt sind, was häufig der Fall ist. Es kommt zu zufälligen Überschneidungen der Leitungsabschnitte mit den links und rechts angrenzenden Strukturtypeneinheiten. Dadurch entstehen Unschärfen. Die genannten Arbeiten begegnen diesem Problem, indem sie die Erhebungen in möglichst großflächigen Referenzgebieten durchführen, innerhalb derer der Randeffect relativ an Bedeutung verliert. Auf diesem Wege werden idealisierte spezifische Netzaufwendungen formuliert. Einzelfälle können hiervon erheblich abweichen. So weist Lipkow (2001) auf erhebliche Bandbreiten auftretender Wertebereiche spezifischer Netzaufwendungen innerhalb von Gebietsausschnitten gleichen Stadtstrukturtyps hin. Als eine Einflussgröße identifiziert er vor allem die Gebietsgröße. Mit abnehmender Gebietsgröße nimmt die Streuung der Werte deutlich zu.

Im hier verwendeten Ansatz sind der Verschmelzung benachbarter Gebiete deutlich engere Grenzen gesetzt, da die Kleinsäumigkeit der Realwerte gewahrt werden soll, um die Simulation der Dezentralisierung schrittweise zu ermöglichen. Der beschriebene Zuordnungsansatz über die Generierung von Ausstattungsparametern in größeren

Referenzgebieten ist deshalb nicht zufriedenstellend. Deutlich wird dies aus den in Abbildung 8-1 beispielhaft dargestellten Ausschnitten des Untersuchungsgebietes.

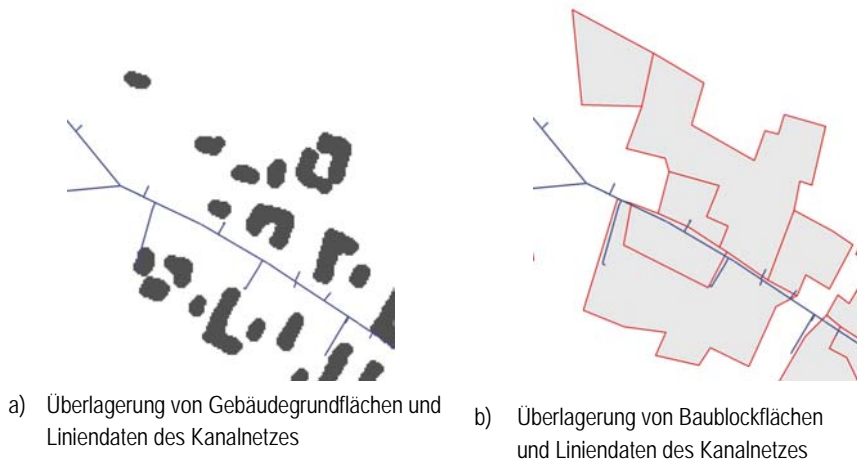


Abbildung 8-1: Physische Überlagerung von Flächendaten des Siedlungsmodells mit Liniendaten des Mengengerüsts

Abbildung 8-1a zeigt die im betrachteten Ausschnitt selektierten Gebäudegrundflächen sowie das erhobene Kanalnetz des Ausschnitts. Es wird deutlich, dass räumliche Überlagerungen der Flächen- und Liniendaten die Ausnahme darstellen. Der Großteil der Gebäudegrundflächen wird von den Liniendaten nicht tangiert. Dies ist dem Umstand geschuldet, dass nur das öffentliche Netz betrachtet wird. Die Lage der privaten Anschlussleitungen zu den Gebäuden, welche die Verbindung zwischen Gebäude und öffentlichem Kanal herstellen, ist nicht bekannt. Diese Daten lassen sich auch nicht flächendeckend erheben, da sie nicht zentral gehalten werden. In der Verschneidung der Liniendaten mit Baublockdaten zeigt sich der oben beschriebene Randeffect. Dies wird aus Abbildung 8-1b deutlich, wo Baublockgrenzen unter Nutzung von ATKIS-Polygonen dargestellt sind. Die Verschneidung der Linienelemente „Leitung“ mit der Baublockfläche erfolgt zufällig bzw. hängt von der konkreten Grenzziehung der Flächenpolygone ab, die dieser Zuordnung keine Beachtung schenkt. Aus der resultierenden Verschneidung zwischen Linienelement und Fläche kann somit kein Rückschluss auf das tatsächliche Vorhandensein eines Anschlusses bzw. auf den anliegenden Leitungsaufwand der einzeln angeschlossenen Flächen gezogen werden.



### 8.1.2 Räumliche Zuordnung von Siedlungsflächen und Kanälen zu Rasterzellen

Eine andere Variante, einen Bezug zwischen Siedlungsflächendaten und Leitungsliniendaten herzustellen, ist die Verwendung eines Rastersystems als Bezugsebene und Analyseinheit. Raster stellen geometrisch definierte Bezugseinheiten dar. Damit besteht kein Bezug zu administrativen oder topografischen Grenzen. Abstrakte Bezugseinheiten wie das Rastersystem ermöglichen aber eine vergleichsweise einfache Datenhaltung und Datenverarbeitung und bieten einen guten Zugang zur Aufstellung formalistischer Modelle. Weiter bergen Rastersysteme Vorteile bezüglich der Vergleichbarkeit, denn die Grenzen können, unabhängig von Verschiebungen administrativer Grenzen, konstant gehalten werden (Meise und Volwahn 1980, 29). Eine wichtige Festlegung bei der Verwendung von Rasterbezugssystemen ist die Definition der Maschengröße des Rasternetzes. Hier sind die Erfordernisse der jeweiligen Planungsaufgabe und Planungsebene zu beachten.

Für den hier zu leistenden Modellierungsschritt steht die Herstellung kleinräumiger Bezüge zwischen Siedlungsflächen und Kanalnetz im Vordergrund. Dabei sollen reale Verhältnisse kleinräumig antizipiert werden. Die festzulegenden Maschenweiten des Rasters haben sich somit am Kriterium der Kleinräumigkeit zu orientieren. Dabei kann Kleinräumigkeit in erster Annäherung an kleineren zusammenhängenden Entorgungseinheiten auf der Ebene weniger zusammenhängender Grundstücke oder Grundstücksausschnitte festgemacht werden, in Orientierung an im Rahmen des Entwässerungsentwurfs vorgenommene Gebietseinteilungen (siehe hierzu Abschnitt 8.3). Um die Leistungsfähigkeit des rasterbasierten Ansatzes zur Herstellung des Bezugs zwischen Siedlungsflächendaten und Infrastrukturliniendaten zu testen, wurden die Gebäudepolygone und Kanallinien mit Rastern einer Maschenweite von 50 m, 100 m und 200 m überlagert. Eine visuelle qualitative Auswertung dieser Überlagerung zeigt, dass auch hier das Zuordnungsproblem kleinmaßstäblich wenig zufriedenstellend gelöst wird. Aufgrund der Festlegung der Grenzziehung der Rasterzellen nach geometrischen Regeln besteht kein inhaltlicher Bezug zwischen dem Verlauf der Rasterabgrenzung und der Lage von Siedlungseinheit und Kanal. Nach Verschneidung der Raster mit dem Netz und den Siedlungsflächen kommt es bei allen Maschenweiten zu inakzeptablen Fehlzusordnungen. Häufig tritt der Fall auf, dass Gebäude in Rasterflächen fallen, die nicht bzw. nur über einen kurzen Abschnitt von einer Kanallinie geschnitten werden, obgleich sie nach dem Verlauf des Kanals bzw. dessen räumliche Nähe zum Gebäude zu schließen offensichtlich an das zentrale Netz angeschlossen sind. Diesen Gebäuden wird kein bzw. ein sehr geringer Erschließungsaufwand zugeordnet, was der realen Situation widerspricht (im beispielhaft in Abbildung 8-2 dargestellten Ausschnitt betrifft dies Gebäude am rechten und unteren Rand).

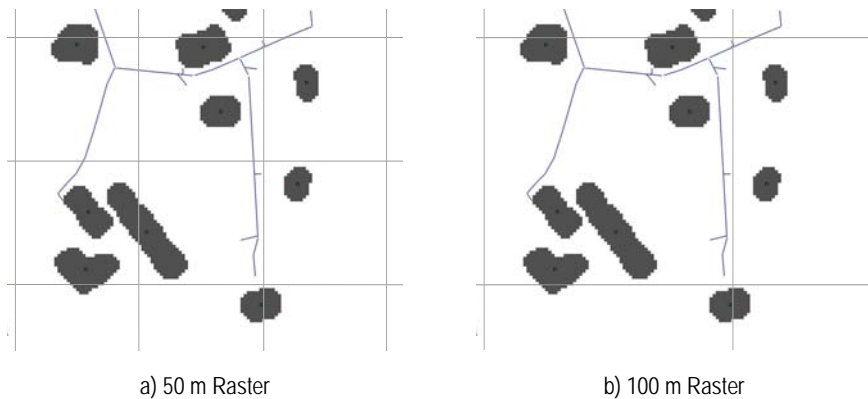


Abbildung 8-2: Verwendung von Rastersystemen als Bezugssystem für Flächendaten des Siedlungsmodells und Infrastruktur-Liniendaten<sup>66</sup>

### 8.1.3 Herstellung des Bezugs von Siedlungsflächen zu Kanälen unter Berücksichtigung funktionaler Bezüge

Die in den vorangegangenen beiden Abschnitten diskutierten Ansätze zeigen keine zufriedenstellenden Ergebnisse hinsichtlich der gestellten Zuordnungsaufgabe. Die Ursache liegt in beiden Fällen darin begründet, dass die vorgenommenen Abgrenzungen existierende funktionale Bezüge zwischen Bebauung und Kanal nicht ausreichend bzw. überhaupt nicht antizipieren. Dies gilt sowohl für die Grenzziehung der ATKIS-Baublockgrenzen, die sich an topografischen Merkmalen wie Grundstücksgrenzen und Straßenverläufen orientieren, als auch für die Abgrenzung, die durch die geometrische Festlegung eines Rasternetzes erfolgt.

Aus diesen Erkenntnissen heraus wurde nach einem Ansatz gesucht, der bei der Herstellung des Bezugs zwischen Gebäude und Kanal bestehende funktionale Bezüge in den Vordergrund stellt. Ausgangspunkt stellte eine Auseinandersetzung mit den Planungsschritten des abwassertechnischen Entwässerungsentwurfs dar. Nachfolgend wird zunächst die Vorgehensweise bei der Erarbeitung eines Entwässerungsentwurfs in groben Zügen skizziert. Anschließend werden hieraus Schritte und Kriterien zur Herstellung kleinräumiger Bezüge zwischen Siedlungseinheit und Kanalabschnitt entwickelt.

#### 8.1.3.1 Entwurfsverfahren bei der Planung von Entwässerungsgebieten

Beim Entwurf einer Ortsentwässerung (siehe hierzu Hosang, Bischof 1998, 101 ff.) sind die Grenzen des Gebietes, das beplant werden soll, durch die planerischen Zielvorgaben beschrieben. Unter Beachtung der Topografie des Gebietes werden Vorüber-

<sup>66</sup> Ähnliche Fehleinschätzungen zeigen sich bei der Maschenweite von 200 m

legungen zur grundsätzlichen Ausgestaltung der Hauptteile<sup>67</sup> der Ortsentwässerung angestellt. Nach erfolgter Grundlagenermittlung und der Phase erforderlicher Vorklä- rungen erfolgt die eigentliche Bearbeitung des Entwässerungsentwurfs. Kanalachsen, Gefälle und Fließrichtung werden in den Lageplan eingetragen und mit den erforderli- chen Zusatzinformationen versehen. Ausgehend hiervon erfolgt eine Aufteilung des Entwässerungsgebietes. Dabei werden abgegrenzte Zuflussgebiete einzelnen Kanalab- schnitten zugeordnet. Dies erfolgt im Regelfall in Orientierung an Mittellinien und Winkelhalbierenden der Baublöcke (Abbildung 8-3).

Im Rahmen der hydraulischen Berechnung werden die zuvor getroffenen Festlegungen zur Auslegung der Kanäle überprüft und ggf. angepasst. Bei der hydraulischen Bemessung kommen, abhängig von der Größe des Bemessungsgebietes sowie der Komplexi- tät der zu beachtenden hydraulischen Zusammenhänge, unterschiedliche statische oder dynamische Verfahren zur Anwendung (siehe hierzu Goris 2006, 1370 ff.; Hosang, Bischof 1998, 23 ff.). Unabhängig vom verwendeten Verfahren ist hierfür erforderlich, Vor- und Nachfolger der einzelnen Leitungsabschnitte zu definieren, um die Wasserübergabe von Netzabschnitt zu Netzabschnitt mit berücksichtigen zu kön- nen.

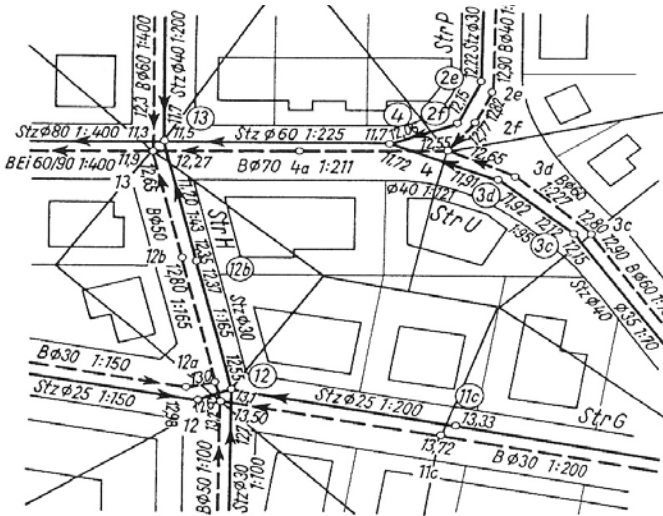


Abbildung 8-3: Auszug aus dem Lageplan eines Entwässerungsentwurfs für Trennsystem (Quelle: Hosang, Bischof 1998, 119)

<sup>67</sup> u. a. zur Art der Abwasserreinigung, zu möglichen Standorten der Kläranlage, zur Form des Leitungsnetzes, zum Gefälle und zu erforderlichen Sonderbauwerken

### 8.1.3.2 Kriterien zur Herstellung kleinräumiger Bezüge zwischen Siedlungseinheit und Kanalabschnitt im Abbildungsmodell

Im Zuge der Entwässerungsplanung werden Siedlungsgebiete, wie oben skizziert, entlang abwassertechnischer Entwurfskriterien abgegrenzt. Die hier angewendeten Prinzipien sollen im Folgenden auf die Modellierungsaufgabe übertragen werden.

Anders als beim Entwässerungsentwurf, wo mit der Aufgabenstellung die Grenzen des zu entwässernden Gebietes gegeben sind, sind diese aus den Flächendaten des Siedlungsmodells und den Infrastruktur-Liniendaten nicht unmittelbar ersichtlich. Bekannt sind aber das Ergebnis eines bereits erfolgten Entwurfsprozesses, der vorgefundene Trassenverlauf der Leitungen sowie die Lage umliegender Gebäude. Zur Herstellung des Bezugs zwischen diesen Elementen wird deshalb der Prozess des Entwässerungsentwurfs, der zu dieser Struktur geführt hat, gedanklich nachvollzogen und damit mit rückwärts gewandtem Blick durchlaufen.

Die Zuordnungen von Entwässerungsteilgebieten zu potenziellen Trassenverläufen orientieren sich im Entwurfsprozess an den Mittellinien von Baublöcken. Dies entspricht näherungsweise der Tiefe der anliegenden Grundstücke (s. Abbildung 8-3). In Anlehnung hieran wird angenommen, dass sich das Einzugsgebiet der vorgefundene Kanäle über das Gebiet der anliegenden Grundstücke erstreckt. Die Abgrenzung des Einzugsbereichs der bestehenden Kanäle erfolgt deshalb in Orientierung an mittlere Grundstückstiefen.

Ist das Einzugsgebiet der Kanaltrasse beschrieben, besteht die Forderung, dieses in sinnvolle Teilgebiete zu unterteilen. Hierbei können die Regeln des Überschlagsverfahrens, wie sie beim Entwässerungsentwurfsverfahren angewendet werden, Orientierung geben. Grenzziehungen erfolgen dabei entlang der Blockmittellinien, was näherungsweise der Grundstückstiefe entspricht sowie entlang der Winkelhalbierenden von Kreuzungspunkten (s. Abbildung 8-3). Hieran orientiert sich auch die kleinteilige Gebietsabgrenzung im Modell, wobei aufgrund der räumlichen Ausdehnung des zu betrachtenden Gebietes (übergemeindliche Ebene) nach Generalisierungsansätzen zu suchen ist.

Um Teilgebiete mit deutlich unterschiedlich hohen Erschließungsaufwendungen zu unterscheiden, wird bei der Grenzziehung der Teilgebiete zudem die Art der anliegenden Bebauung berücksichtigt. So kann im einfachsten Fall zwischen angebauten und nicht angebauten Kanalabschnitten unterschieden werden. Dies ist vor allem dann von Interesse, wenn nicht angebaute Abschnitte Durchleitungsfunktion für mehrere vorgelegte Gebietseinheiten übernehmen.

Damit sind bereits unterschiedliche Funktionen angesprochen, die Kanalabschnitte zu leisten haben, das Sammeln, Ableiten und das Durchleiten von Abwasser. Welche der Funktionen für einzelne Abschnitte zutreffen, hängt neben der Frage, ob Bebauung

anliegt, von der Einbindung des Abschnittes in das hydraulische System des Netzes ab. Hier ist in erster Linie von Interesse, wie sich die Teilgebiete entlang der Fließrichtung des Abwassers in den Kanälen anordnen. Vorbereitende Schritte, die bei der hydraulischen Netzberechnung erforderlich sind, beschreiben für einzelne auszulegende Kanalabschnitte Vorgänger und Nachfolger im Strangverlauf. Dieses Vorgehen wird für die Charakterisierung der funktionalen Einbindung der Teilgebiete in das Gesamtsorgungsnetz antizipiert.

Die Kriterien zur Herstellung des Bezugs zwischen Siedlungseinheiten und Kanalabschnitten lassen sich demnach wie folgt zusammenfassen:

- Abgrenzung des Einzugsbereichs von Kanaltrassen unter Beachtung mittlerer Grundstückstiefen.
- Aufteilen des Einzugsbereichs in Teilgebiete in Orientierung an Winkelhalbierende bei Kreuzungspunkten sowie unter Beachtung des Charakters der anliegenden Bebauung (angebaut/nicht angebaut).
- Berücksichtigung funktionaler Bezüge zwischen Teilgebieten unter Beachtung deren Vorgänger und Nachfolger im Strangverlauf.

In den nachfolgenden Abschnitten 8.2 bis 8.4 erfolgt die Umsetzung dieser Kriterien im Abbildungsmodell.

## 8.2 Abgrenzen des Entwässerungsgebietes

Angaben zu Grundstückstiefen sind in den verfügbaren Planunterlagen nicht enthalten. Deshalb wird hierzu eine Schätzung vorgenommen. Die Tiefe eines Grundstücks wird von der Grundstücksfläche und dem Zuschnitt des Grundstücks bestimmt. Beides ist stark von lokalen Bedingungen abhängig. Zwar liegen Arbeiten vor, die Angaben zu Grundstücksgröße und zum Teil auch Zuschnitt unterschiedlicher Bebauungsformen machen (stellvertretend Gassner et al. 1986; Menkhoff u. a. 1979), jedoch ist keine systematische Aufbereitung von Flächen- oder Grundstücksdaten bekannt, aus denen Angaben zur Erschließungstiefe entnommen und auf das Gebiet übertragen werden könnten. Nach einer visuellen Einschätzung unter Beachtung der Anordnung von Bebauung und Straßen liegen im Untersuchungsgebiet die Grundstückstiefen in der Größenordnung zwischen 30 bis 50 m. Vergleichbare Größenordnungen lassen sich in anderen, überwiegend ländlich strukturierten Gebieten beobachten (Gutachterausschuss für Grundstückswerte im Kreis Aachen 2000, 41; Rhein-Siegkreis o. A., 1). Dies deckt sich in etwa mit Werten, wie sie z. B. in Abwassersatzungen zur Einschätzung entwässerungsrelevanter Erschließungstiefen angesetzt werden. So geht beispielsweise eine vorliegende Abwassersatzung im Rahmen von pauschalen Festlegungen zur Ermittlung von Bemessungsgrundstücksflächen für die Berechnung des flächenbezogenen Beitragsmaßstabes für die Schmutzwasserbeseitigung von einer entwässerungsrelevanten Erschließungstiefe von 50 m aus (Gemeinde Wesenberg 1995).

Auf dieser Grundlage wird für das Untersuchungsgebiet eine mittlere Erschließungstiefe von 50 m angenommen. Diese setzt sich zusammen aus halbem Straßenquerschnitt<sup>68</sup> (bei vereinfachter Annahme von straßenmittig verlaufendem Kanal) und Grundstückstiefe.

Technisch wird dies durch die Bildung eines Pufferbereichs um die Kanallinien mit einem Radius von 50 m realisiert. Umgesetzt wird dies unter Verwendung von ESRI-Arc-GIS mit Hilfe der GIS-Operation „buffer analysis“. In den dörflichen Ortslagen weist der so gebildete Pufferbereich wenig Überschneidungen auf. Straßenbegleitete Bebauung und Gebäude in zweiter Reihe werden von dem Puffer überdeckt. In den Kernsiedlungsgebieten, wo das Kanalnetz eine engere Maschenweite aufweist, sind die Grundstückstiefen und damit auch die Erschließungstiefen im Mittel offensichtlich geringer. Es kommt zu Überlagerungen der Pufferbereiche. Diese Überlagerungen werden im zweiten Schritt aufgelöst, indem die Einzugsbereichsflächen zusammengefasst<sup>69</sup> werden. Im Ergebnis entsteht ein Einzugsbereich, der sich in den dörflichen Lagen und entlang der Überleitungen schlauchförmig um die Kanallinien legt. Innerhalb von Siedlungskerngebieten entstehen nach der Zusammenfassung sich überlagernder Einzugsbereiche größere Einzugsbereiche. Abbildung 8-4 zeigt das Ergebnis dieses Analyseschrittes anhand eines Ausschnitts aus dem Untersuchungsgebiet.

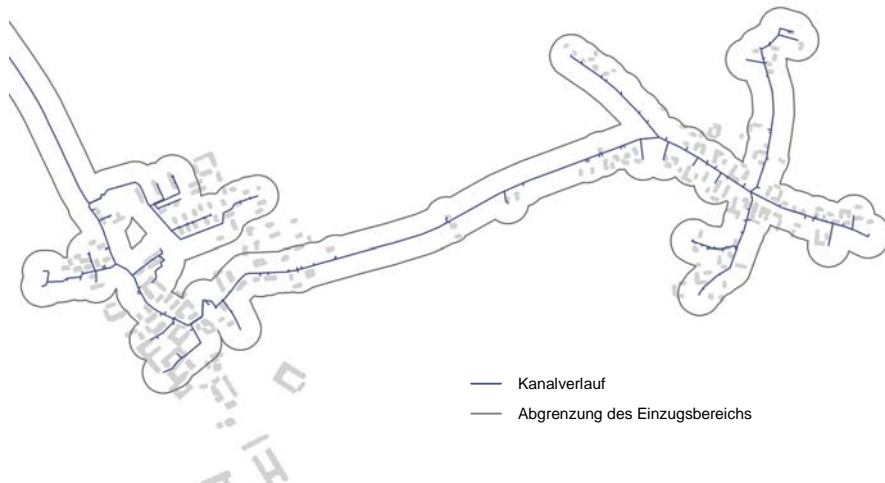


Abbildung 8-4: Abgrenzung des Einzugsbereichs der Kanäle durch Bildung einer Pufferzone um den Kanalverlauf mit definiertem Radius

<sup>68</sup> Triebel (2001) ermittelt im Rahmen von Analysen historischer Planungsvorgaben für Gebiete mit überwiegend Ein- und Zweifamilienhausbebauung Straßenquerschnitte von 8 m bis 17 m (einschließlich Gehweg, Fahrbahn, Park-Grünstreifen).

<sup>69</sup> Arc-GIS-Operation „merge“

Die Zuordnung der Gebäudepolygone zu dem mit der Pufferzone festgelegten Einzugsbereich erfolgt unter Beachtung sich abzeichnender räumlicher Überlagerungen von Gebäudepolygon und Pufferbereich<sup>70</sup>. Zur Umsetzung der Zuordnung wird als maßgebliches Kriterium die Lage der Flächenschwerpunkte der Gebäudepolygone festgelegt. Hierzu werden die Gebäudepolygone vorab in Punktdaten umgewandelt<sup>71</sup>. Dabei gehen die Attributmerkmale der Gebäudegrundflächen (Wohnungsanzahl, Einwohnerzahl, Gebäudeanzahl) auf die Punktdaten über. Gebäude, deren Flächenschwerpunkte vom Einzugsbereich überlagert werden, werden als an das zentrale Netz angeschlossen eingestuft, Gebäude außerhalb dieses Bereichs gelten als nicht angeschlossen.

Durch Anwendung dieser Verfahrensschritte werden im Gesamtuntersuchungsgebiet Gebäude mit insgesamt 9.180 Wohnungen als angeschlossen eingestuft. Diesem Wohnungsbestand sind ca. 18.700 Einwohner zugeordnet. Bei insgesamt ca. 22.900 Einwohner im Gesamtuntersuchungsgebiet (s. Abschnitt 5.2) beträgt die hieraus resultierende Anschlussquote damit insgesamt 82 %. Diese differenziert sich in den Gemeinden, die zusammen das Entsorgungsgebiet bilden, wie folgt aus: 87 % im Gebiet der Stadt Kamenz, 69 % im Stadtgebiet von Elstra, 47 % im Gemeindegebiet Nebelschütz und 63 % im zum Untersuchungsgebiet zählenden Teilgebiet der Gemeinde Schönteichen. Mit Ausnahme des Anschlusswertes für das Teilgebiet der Gemeinde Schönteichen, der mit dem amtlich angegebenen Anschlusswert bezogen auf das Gesamtgebiet der Gemeinde aufgrund des abweichenden Raumbezugs nicht verglichen werden kann, liegen die berechneten Anschlussquoten alle im Korridor der Wertebereiche der in der amtlichen Statistik genannten Anschlussquoten (s. Abschnitt 5.2, Tabelle 5-1).

### 8.3 Aufteilen des Entwässerungsgebietes in Teilgebiete

Die Aufteilung des Entwässerungsgebietes in Teilgebiete erfolgt in Anlehnung an das oben beschriebene Verfahren des Entwässerungsentwurfs (s. Abschnitt 8.1.3.1). Dort werden Aufteilungen entlang von Blockmittellinien vorgenommen, bei Kanalkreuzungen entlang der Winkelhalbierenden. Die Grenzziehung erfolgt manuell durch Zerschneidung der Polygone<sup>72</sup>. Nach Abgrenzung der Teilgebiete werden die Kanallinien entlang der Grenzen der gebildeten Teilgebiete geteilt. So wird jedem Teilgebiet eindeutig eine Leitungslänge zugeordnet.

---

<sup>70</sup> Arc-GIS-Operation „dissolve“

<sup>71</sup> Arc-GIS-Operation „feature to point“

<sup>72</sup> Arc-GIS-Operation „cut“

Aufgrund der Ausdehnung des Gebiets wird dabei ein generalisiertes Vorgehen gewählt. Eine Grenzziehung erfolgt nur an Hauptkreuzungspunkten, an denen ein oder mehrere Hauptstränge abgehen. Als Hauptstränge werden solche Abschnitte eingestuft, in die mehrere Leitungen einmünden, die kleinere Nachbarschaften erschließen. Bei Nebenabzweigen, die in kürzeren Sticherschließungen auslaufen, wird keine Grenzziehung vorgenommen. Darüber hinaus werden Grenzziehungen nur dann vorgenommen, wenn aus dem Verlauf der Kanäle Rückschlüsse auf die Fließrichtung gezogen werden können. Dies ist im wenig verästelten Netz der ländlichen Ortslagen in der Regel problemlos möglich. In stark verästelten Abschnitten, die insbesondere im Kerngebiet des Hauptortes auftreten, ist der Strangverlauf aus der Lage der Kanäle teilweise nicht eindeutig zu erkennen. In solchen Fällen werden größere, stark verästelte erschlossene Einheiten zusammengefasst. In Gebieten, in denen sich die gebildeten Pufferbereiche überlagern, wurden diese bei der Abgrenzung des Gesamtentwässerungsgebietes miteinander verschmolzen (s. Ausführungen im vorangegangenen Abschnitt). Die Aufteilung des Entwässerungsgebietes erfolgt in diesen Fällen durch Grenzziehung entlang einer Mittellinie zwischen parallel laufenden Strängen, deren Einzugsbereiche von der Überlagerung betroffen sind.

Weitere Teilungen werden bei einem Wechsel von Art und Dichte der anliegenden Bebauung vorgenommen, um diesbezüglich möglichst homogene Teilgebiete zu erhalten. Grenzziehungen erfolgen bei einem Wechsel von Abschnitten mit anliegender

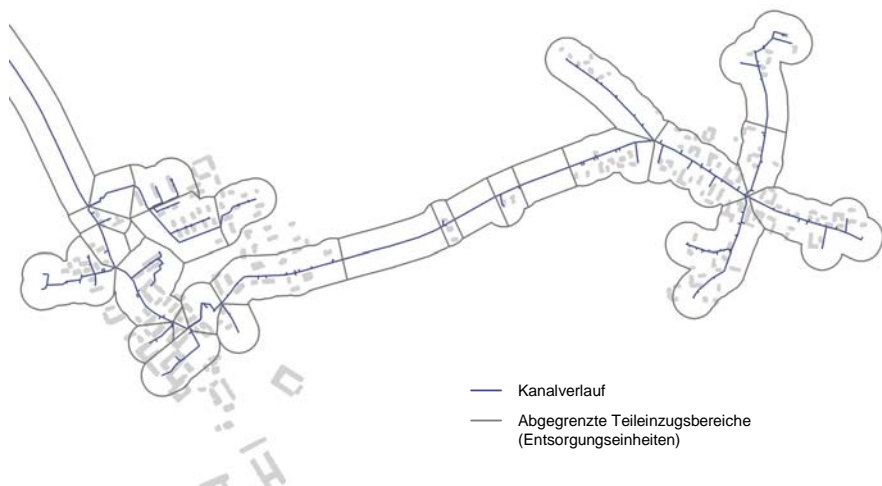


Abbildung 8-5: Abgrenzung von Entsorgungseinheiten (EE) unter Beachtung abwassertechnischer Entwurfskriterien sowie von Homogenitätskriterien hinsichtlich der anliegenden Bebauung



Bebauung zu nicht angebauten Abschnitten, bei einem Übergang von Ein- zu Mehrfamilienhausbebauung sowie bei einem Wechsel zwischen Gebieten mit überwiegender Wohnnutzung zu überwiegend gewerblich genutzten Flächen. Abbildung 8-5 veranschaulicht das Ergebnis der Teilgebietsbildung am Beispiel des bereits oben herangezogenen Gebietsausschnittes.

Der Einzugsbereich der Kanäle des Gesamtuntersuchungsgebietes wird durch Anwendung dieses Aufteilungsverfahrens in 225 Teileinzugsbereiche unterteilt. Diese weisen eine mittlere Größe von 4,9 ha auf<sup>73</sup>. Die Teilgebiete werden im Folgenden als Entsorgungseinheiten (EE) bezeichnet.

#### 8.4 Funktionale Bezüge zwischen Entsorgungseinheiten

Die den Entsorgungseinheiten (EE) zugeordneten Kanäle sammeln das in den Entsorgungseinheiten anfallende Schmutzwasser und leiten dieses ab. Zusätzlich wird das Schmutzwasser der in Fließrichtung des Abwassers vorangehenden EE durchgeleitet. Abhängig von der Lage einer EE im Kanalnetz und der hieraus resultierenden funktionalen Einbindung in das Kanalnetz lassen sich zwei Typen von EE unterscheiden:

- Entsorgungseinheiten an Netzenden sowie
- integrierte Entsorgungseinheiten.

EE an den Netzenden haben keine Vorgänger im Strangverlauf. Die Kanäle in diesen Einheiten haben die Funktion des Sammelns sowie des Ableitens der anliegenden Bebauung. Bei Abkopplung von EE an den Netzenden kann das verbleibende Restnetz in der Regel ohne zusätzliche bauliche Maßnahmen, ausgenommen der erforderlichen Stilllegungsmaßnahmen, weiter betrieben werden. Integrierte EE haben dagegen Vorgänger und Nachfolger im Strangverlauf. Kanäle in diesen Einheiten haben die Funktion, das Schmutzwasser der anliegenden Bebauung zu sammeln und abzuleiten. Zusätzlich wird Abwasser aus vorangegangenen EE durch die Kanäle integrierter EE durchgeleitet. Ein Abkoppeln dieser Kanäle ist somit nur sehr eingeschränkt möglich, da die Durchleitung weiter gewahrt werden muss.

Integrierte EE können abhängig vom Vorhandensein anliegender Bebauung weiter unterschieden werden in

- integrierte EE mit anliegender Bebauung und
- nicht angebaute integrierte EE.

---

<sup>73</sup> Die Größenverteilung ist heterogen. Die kleinste Entsorgungseinheit ist 0,2 ha groß, die größte 118 ha. Letztere stellt aber hinsichtlich der Ausdehnung die Ausnahme dar. Sie findet sich im Kerngebiet des Hauptortes, wo eine Unterteilung aufgrund der starken Verästelung und fehlender Angaben zur Fließrichtung nicht sinnvoll möglich ist. Ohne Berücksichtigung der maximalen und der minimalen Ausprägung liegt die mittlere Größe der Entsorgungseinheiten bei 4,4 ha.

In Kanälen integrierter EE mit anliegender Bebauung kommen alle oben angesprochenen Funktionen zum Tragen. Fehlt die anliegende Bebauung, beschränkt sich die Funktion der Kanäle auf das Durchleiten des Schmutzwassers aus vorgelagerten EE. In Anlehnung an die übliche Unterscheidung von Netzhierarchiestufen können Kanäle in nicht angebauten integrierten EE als äußere Gebietserschließung bezeichnet werden<sup>74</sup>. In Abgrenzung dazu werden Kanäle in integrierten EE mit anliegender Bebauung als innere Gebietserschließung eingestuft. Zusammenfassend lassen sich demnach folgende EE-Typen nach funktionalen Kriterien unterscheiden:

- Entsorgungseinheiten (EE) an Netzenden,
- Integrierte EE mit anliegender Bebauung,
- Integrierte EE der äußeren Gebietserschließung.

Die abgegrenzten EE können diesen Typen eindeutig zugeordnet werden. Die Lage und Einbindung einer EE im Kanalnetz wird durch das Vorhandensein von Vorgängern beschrieben. Dazu wird im Modell jeder EE eine eindeutige Identifikation (ID) vergeben und die Information der ID aller Vorgänger der betreffenden EE als Attribute beigefügt, bezogen auf die Fließrichtung im Strangverlauf. Das Vorhandensein anliegender Bebauung innerhalb einer EE kann im Rahmen der GIS-Analyse aus der Verschneidung der Gebäudepolygone bzw. Flächenschwerpunkte (s. o.) mit den EE ermittelt und als Attribut angehängt werden. Im Ergebnis liegt eine Beschreibung des Entsorgungsgebietes vor, aufgeteilt in die nach funktionalen Kriterien unterschiedenen EE (Abbildung 8-6).

---

<sup>74</sup> Erschließungssysteme werden üblicherweise in drei bis vier Netzhierarchien bzw. Erschließungsebenen eingeteilt, die sich hinsichtlich funktionaler und eigentumsrechtlicher Aspekte unterscheiden: private Erschließungsanlagen auf dem Grundstück, die innere Gebietserschließung, die in erster Linie der Erschließung der Bebauung innerhalb eines Quartiers dient, die äußere Erschließung, die die Erschließungs- und Verbindungsfunktion auf Gemeindeebene sichert und die übergeordnete Erschließung mit übergemeindlicher Transitfunktion (EPA 1993; Gassner u. a. 1986).

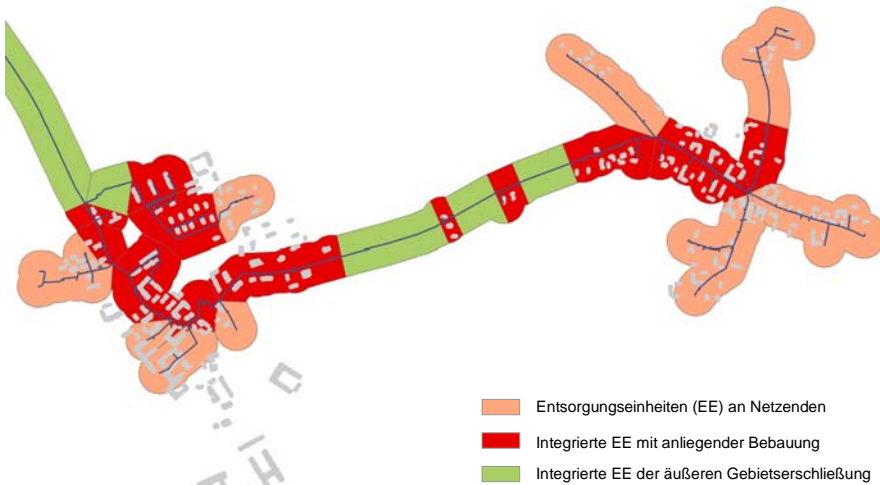


Abbildung 8-6: Unterscheidung von Entsorgungseinheiten nach funktionalen Kriterien

Mit dem, unter dem Begriff Bezugsmodell eingeführten Verfahren werden entlang der aufeinander aufbauenden Schritte „Abgrenzung des Einzugsbereichs“, „Aufteilen des Einzugsbereichs in Teilgebiete“ und „Berücksichtigung funktionaler Bezüge zwischen Teilgebieten“ die Module Siedlungsmodell und Infrastrukturmodell so zusammengeführt, dass auf dieser Grundlage der Entwurf von Dezentalisierungsabfolgen erfolgen kann (s. Kapitel 9). Mit Blick auf das Ergebnis des erfolgten Entwicklungsprozesses scheint der bislang verwendete Begriff des Bezugsmodells dieses Moduls nicht ausreichend griffig zu beschreiben. Mit den erfolgten Analyseschritten ist ein Abbild des Ausgangszustandes des vorhandenen zentralen Systems entstanden, das sich schlauchförmig entlang der Kanaltrassen durch den Siedlungsbestand zieht. Dies kann mit der Metapher Schlauchmodell zum Ausdruck kommen. Die zwischen den teilgebietlichen Entsorgungseinheiten bestehenden funktionalen Bezüge sind maßgeblich auf den Abwasserfluss im Gesamtnetz zurückzuführen. Auch dies kommt mit der genannten Metapher zum Ausdruck. Während der Begriff Bezugsmodell die Ausrichtung und den Entwicklungsprozess dieses Moduls beschreibt, hebt die Metapher „Schlauchmodell“ auf das Ergebnis des Moduls ab. Ähnlichen Charakter haben die Begriffsverwendungen der beiden anderen Module des Abbildungsmodells, das Siedlungsmodell und das Infrastrukturmodell. Deshalb wird an dieser Stelle der Begriff Schlauchmodell für die Bezeichnung dieses Moduls neu eingeführt. Er ersetzt damit die bisher verwendete Bezeichnung Bezugsmodell.

## 9 Sequenzanalyse

Aufgabe der Sequenzanalyse ist es, die Reihenfolge festzulegen, in der die Entsorgungseinheiten (EE) transformiert werden sollen. Dabei steht der Kostenentlastungseffekt im Vordergrund. Gesucht wird nach Varianten, die einen hohen Dezentalisierungsgrad mit geringem Aufwand erwarten lassen. Die Transformationsabfolge hat sich demnach an potenziellen Kostenentlastungsbeiträgen betroffener Entsorgungseinheiten zu orientieren. Dazu ist, im Vorgriff auf die zu leistende Kostenrechnung, bereits eine Einschätzung potenzieller Kostenentlastungseffekte der Entsorgungseinheiten zu treffen. Hier bietet sich eine hypothesengeleitete Vorgehensweise an.

### 9.1 Kostenentlastungshypothesen

Bei der betrachteten Dezentralisierung im zentral erschlossenen Bestand soll das vorhandene zentrale System durch eine alternative dezentrale Struktur ersetzt werden. Dies soll schrittweise nach einer im Sinne der verfolgten Kostenreduktionsziele sinnvollen Abfolge des Dezentalisierungsverlaufs erfolgen. Zur Einteilung des Dezentalisierungsprozesses in Schritte kann auf die kleinräumige Struktur der in den Abbildungsmodulen entwickelten EE zurückgegriffen werden.

Bezogen auf die jeweils betroffene Entsorgungseinheit bedeutet Dezentralisierung das Abkoppeln der Gebäude in der EE vom zentralen System und den Aufbau einer dezentralen Struktur. Allein das Abkoppeln bewirkt aber noch keinen Kostenentlastungseffekt. Voraussetzung ist zudem, dass die Kanäle in der betroffenen EE stillgelegt werden können, sodass hierfür Betriebskosten und zukünftige Investitionen entfallen. Hiervon ist dann auszugehen, wenn mit der Abkopplung der in der EE anliegenden Bebauung alle Funktionen der betroffenen Kanäle entfallen. Nach den Ausführungen in Abschnitt 8.4 ist dies dann der Fall, wenn die Funktion der Kanäle sich ausschließlich auf die anliegende Bebauung bezieht, wie es in EE an Netzenden der Fall ist. Die erste Kostenentlastungshypothese lautet deshalb:

- Bei der Dezentralisierung im zentral erschlossenen Bestand sind Kostenentlastungen dann zu erwarten, wenn EE am Netzende abgekoppelt werden und davon betroffene Kanäle stillgelegt werden. Wird in integrierten EE dezentralisiert, sind bestehende Durchleitungen weiter aufrecht zu erhalten. Es entstehen zum Teil redundante Strukturen. Stilllegungen können nur eingeschränkt erfolgen. Dadurch schwinden die Chancen, Kosteneinsparungen zu realisieren, deutlich (s. Abschnitt 4.3.3).

Zahlreich vorliegende empirische Studien zeigen einen engen Bezug zwischen Dichteparametern und Erschließungsaufwand. Mit sinkender Dichte steigt der Kanalaufwand je angeschlossener Einheit exponentiell an. Der Aufwand dezentraler Einheiten bleibt dagegen bei unterschiedlichen Dichten ähnlich (s. Abschnitte 4.1.2 und 4.3.1). Hieraus lässt sich in Verbindung mit der Kostenentlastungshypothese 1 die zweite Kostenentlastungshypothese formulieren:

- Bei der Dezentralisierung im zentral erschlossenen Bestand sind Kostenentlastungen dann zu erwarten, wenn EE am Netzeende mit vergleichsweise hohem Kanalaufwand abgekoppelt werden und davon betroffene Kanäle stillgelegt werden.

Werden Kanalabschnitte in abgekoppelten EE stillgelegt, wird der physische zentrale Erschließungsaufwand reduziert. Dadurch entfallen variabel anpassbare Betriebskosten. Der größte Kostenanteil entfällt aber auf langfristig festgelegte Kosten. Davon entfällt ein erheblicher Anteil auf die, in den Anlagen gebundenen, Kapitalkosten. Diese Kosten entfallen nur dann, wenn die betroffenen Kanäle das Ende der vorgesehenen Nutzungsdauer erreicht haben (s. Abschnitt 4.3.2). Das Baualter der stillgelegten Kanäle bestimmt das erreichbare Kostenentlastungspotenzial also maßgeblich mit. Aufbauend auf die Kostenentlastungshypothesen 1 und 2 lässt sich hieraus die dritte Kostenentlastungshypothese formulieren:

- Bei der Dezentralisierung im zentral erschlossenen Bestand sind Kostenentlastungen dann zu erwarten, wenn EE am Netzeende abgekoppelt werden, deren Kanäle vergleichsweise hohe Baualter aufweisen, und davon betroffene Kanäle stillgelegt werden.

Neben dem in der Kostenentlastungshypothese 1 formulierten Lageaspekt „Netzeende“ werden in der zweiten und dritten Kostenentlastungshypothese zwei Kosteneinflussmerkmale angesprochen, die auch in der Literatur als zentral kostenbeeinflussend herausgestellt sind. Bei der Formulierung dieser Hypothesen wird jeweils einer der Faktoren in den Vordergrund gestellt. Inwieweit sich die Wirkungen der beiden Faktoren überlagern, wird dabei nicht betrachtet. Soll dies geschehen, müssen die Ausprägungen der betrachteten Merkmale eine einheitliche Bezugsgröße aufweisen. Dies können Kosten sein. Gelingt dies, kann aufbauend auf die bereits genannten Kostenentlastungshypothesen die vierte Kostenentlastungshypothese wie folgt formuliert werden:

- Bei der Dezentralisierung im zentral erschlossenen Bestand sind Kostenentlastungen dann zu erwarten, wenn EE am Netzeende abgekoppelt werden, die vergleichsweise hohe lokale Kosteneinsparpotenziale aufweisen und davon betroffene Kanäle stillgelegt werden. Das lokale Kosteneinsparpotenzial errechnet sich aus der Höhe der Kosten, die durch die Stilllegung der Kanäle entfallen, abzüglich der Kosten, die durch den Ausbau der dezentralen Struktur entstehen.

## 9.2 Kriterien zur Festlegung von Dezentralisierungsabfolgen

Mit den Kostenentlastungshypothesen werden Merkmale benannt, die erreichbare Kostenentlastungspotenziale einer Dezentralisierung im zentral erschlossenen Bestand wesentlich bestimmen. In diesem Abschnitt werden hieraus operable Kriterien mit Bezug zum vorhandenen Abbildungsmodell formuliert, die zur Festlegung von Dezentralisierungsabfolgen herangezogen werden sollen.

Zentrales Merkmal der ersten Kostenentlastungshypothese ist das Lagemerkmal „Netzende“. Dieses ist in Abschnitt 8.4 bereits näher beschrieben. Die zweite Kostenentlastungshypothese bezieht sich auf das Merkmal Kanalaufwand. Dieser kann als Leitungslänge je angeschlossenen Einwohner ausgedrückt werden. Kostenentlastungshypothese 3 nimmt Bezug auf das Baualter. Dieses ist mit dem Erstellungszeitpunkt der Kanäle bestimmt. Die vierte Kostenentlastungshypothese nennt als Merkmal das lokale Kosteneinsparpotenzial und spezifiziert dies mit der Höhe der Kosten, die durch die Stilllegung der Kanäle entfallen, abzüglich der Kosten, die durch den Ausbau der dezentralen Struktur entstehen. Diese Größe bedarf einer weiteren Spezifizierung, die in Abschnitt 9.2.4 erfolgt. Zusammengefasst ergeben sich hieraus folgende Kriterien zur Festlegung von Dezentralisierungsabfolgen:

- Netzende,
- Kanalaufwand,
- Baualter,
- lokales Kosteneinsparpotenzial.

Diese Kriterien werden nachfolgend in Bezugnahme zu den Abbildungsmodulen weiter spezifiziert.

## **9.2.1 Netzende**

### **9.2.1.1 Begriffsfestlegung**

Nach der in Abschnitt 8.4 erfolgten Definition liegen EE am Netzende, wenn keine Vorgänger im Strangverlauf vorhanden sind. Hierin verlaufende Kanäle haben ausschließlich die Funktion des Sammelns und Ableitens von Abwasser, das von anliegenden Gebäuden bzw. Grundstücken der betreffenden EE eingeleitet wird. Es besteht keine Durchleitungsfunktion.

Die Eigenschaft Netzende ist ein Zustand, der im Zuge der Dezentralisierungsabfolge einer dynamischen Veränderung unterliegen kann. Entfallen durch Dezentralisierung alle Vorgänger einer bislang integrierten EE, ändert diese ihren Typ und wird zum Netzende.

### **9.2.1.2 Ausprägung im Untersuchungsgebiet**

Die Kanalisation im Entsorgungssystem erstreckt sich über mehrere Stränge, die jeweils Verästelungen aufweisen. Dadurch liegt der Zustand „Netzende“ in der Regel immer in mehreren EE gleichzeitig vor. Abbildung 9-1 zeigt die Verteilung der EE des Typs Netzende im Untersuchungsgebiet zweier unterschiedlicher Zustände. Abbildung 9-1a stellt die Situation im Ausgangszustand bei vollständig vorhandenem zentralen System dar. Abbildung 9-1b zeigt die Situation eines fiktiven Dezentralisierungszustandes, in

dem Teilgebiete bereits abgekoppelt sind. Aus dem Vergleich der beiden Abbildungen wird der dynamische Charakter der Eigenschaft Netzsende deutlich.

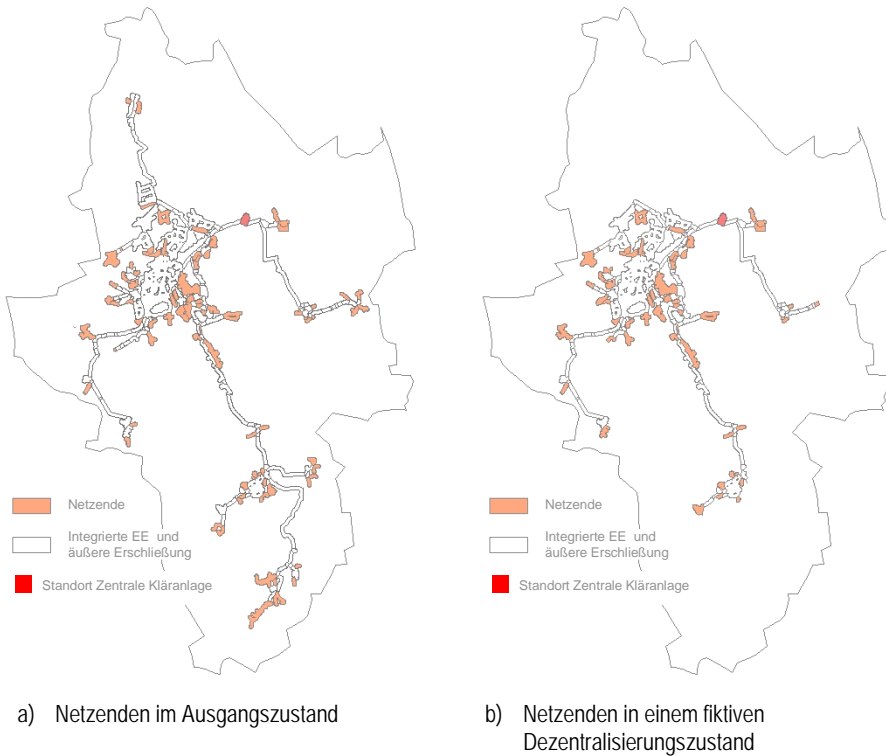


Abbildung 9-1: Verteilung der Netzsenden im Untersuchungsgebiet

## 9.2.2 Kanalaufwand

### 9.2.2.1 Begriffsfestlegung

Der Kanalaufwand wird als erforderliche Kanallänge je angeschlossener Einwohnergleichwerte ausgedrückt. Dadurch lassen sich schrumpfungsbedingte Effekte direkt abbilden. Die erforderliche Kanallänge setzt sich zusammen aus den Kanallängen der inneren und der äußeren Erschließung.

Die Kanallänge der inneren Erschließung ist bei EE an Netzsenden und integrierten EE mit anliegender Bebauung gleichzusetzen mit der Länge der Kanäle, die innerhalb der entsprechenden EE liegen. Kanäle innerhalb integrierter EE der äußeren Gebietsererschließung zählen mit den in Abschnitt 8.4 getroffenen Festlegungen zur äußeren Erschließung. Diese sind funktional den in Fließrichtung oberhalb liegenden EE zuzuordnen. Aus diesem Grunde werden diese Leitungsabschnitte der äußeren Erschließung anteilig den vorangehenden Einheiten angelastet. Diese Anlastung erfolgt ein-

wohnerbezogenen. Verändert sich die Anzahl vorangehender EE, weil einzelne EE abgekoppelt werden, verteilen sich die Leitungsabschnitte der äußeren Erschließung auf die am Netz verbleibenden EE. Der äußere Erschließungsaufwand ist damit im Gegensatz zum inneren Erschließungsaufwand eine dynamische Größe und wird nach jedem Dezentralisierungsschritt neu berechnet. Abbildung 9-2 verdeutlicht dies anhand zweier Dezentralisierungszustände, die für einen Gebietsausschnitt des Untersuchungsgebietes dargestellt sind. Das obere Bild zeigt die Situation des Ausgangszustandes, in der alle EE an das zentrale Netz angeschlossen sind. Die Einfärbung der EE gibt Auskunft über den Anteil der äußeren Erschließung an der erforderlichen Kanallänge innerhalb der einzelnen EE. Dieser resultiert aus den in Fließrichtung des Schmutzwassers nachfolgenden EE der äußeren Gebietserschließung (diese sind nur zum Teil im abgebildeten Ausschnitt dargestellt). Für EE der äußeren Gebietserschließung werden im Modell die erforderliche Kanallänge insgesamt und damit auch der äußere Erschließungsanteil auf 0 gesetzt. Dies wird damit begründet, dass die Kanäle den in Fließrichtung oberhalb liegenden EE angelastet werden.

In den angebauten EE des Gebietsausschnitts finden sich im Ausgangszustand alle in der Legende dargestellten Klassen der Ausprägungen der Anteile der äußeren Erschließung am Kanalaufwand. Im Zustand nach simulierter Teilabkoppelung (unteres Bild) liegen die entsprechenden Anteile in sämtlichen verbleibenden EE des Gebietsausschnitts eine Klasse höher als im Ausgangszustand. Die Klasse „0 % bis 30 %“ tritt nicht mehr auf.

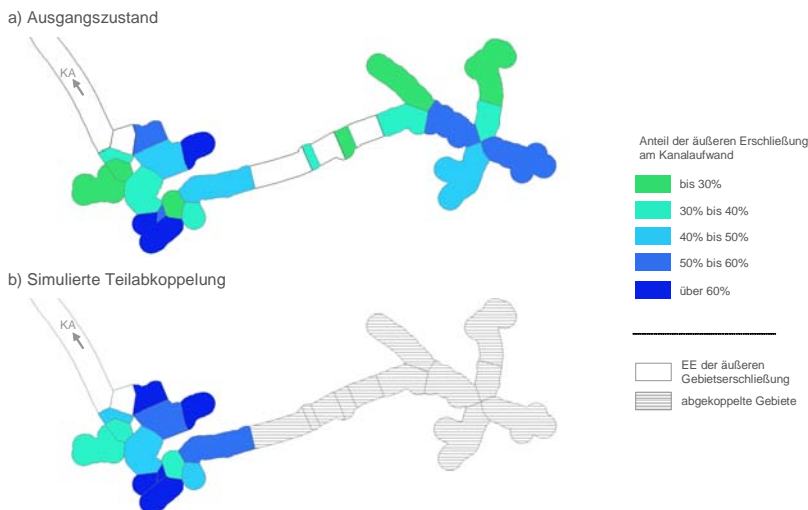
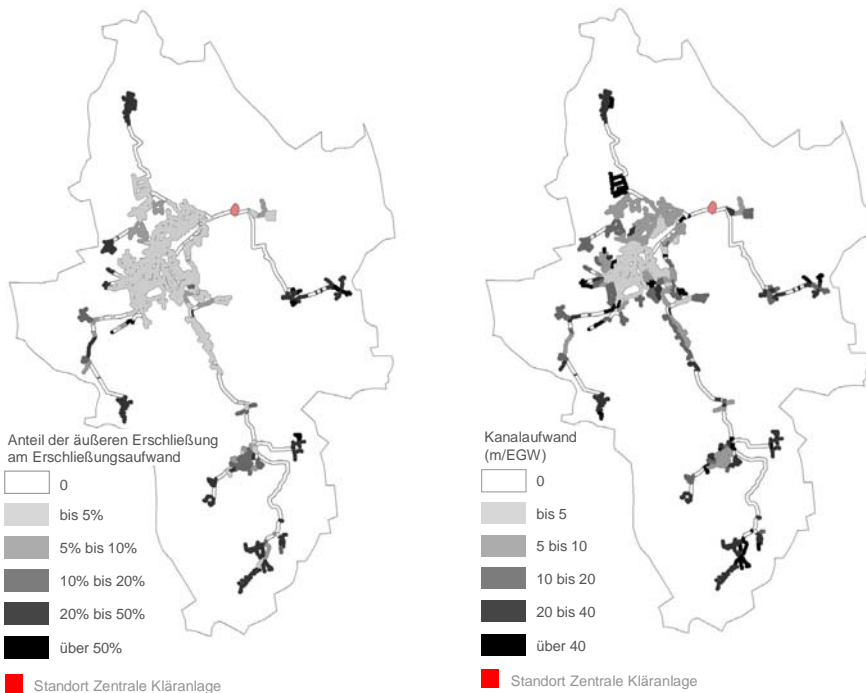


Abbildung 9-2: Anteil der äußeren Erschließung am erforderlichen Kanalaufwand in den EE bei unterschiedlichen Zuständen



### 9.2.2.2 Ausprägung im Untersuchungsgebiet

Im Mittel liegt der Anteil der äußeren Erschließung in den EE des Gesamtuntersuchungsgebietes bei 13,7 %. Dieser Wert variiert stark, abhängig von der Lage der EE. Die Bandbreite der Ausprägungen erstreckt sich über den Wertebereich von 0,05 % bis 81 %. Unterdurchschnittliche Anteile weisen die Entsorgungseinheiten des Kernsiedlungsgebietes des Hauptortes auf. Hohe Anteile (über 50 %) finden sich vor allem in den abgelegenen Ortsteilen, die über längere Überleitungen angeschlossen sind (Abbildung 9-3a).



a) Anteil der äußeren Erschließung an der erforderlichen Kanallänge

b) Kanalaufwand<sup>75</sup> in den EE unter Demografieannahmen für 2035

Abbildung 9-3: Anteil der äußeren Erschließung am Kanalaufwand und Kanalaufwand gesamt

Aus der Gesamtkanallänge, bezogen auf alle angeschlossenen EWG des Untersuchungsgebietes, ergibt sich unter Beachtung der Einwohnerzahl im Jahr 2035<sup>76</sup> ein

<sup>75</sup> Die Kanallänge der Einheiten der äußeren Erschließung wird anteilmäßig auf die angebauten EE umgelegt, die in Fließrichtung oberhalb angeordnet sind. Den EE des Typs äußere Erschließung selbst wird kein Kanalaufwand angerechnet, sondern er wird dort auf Null gesetzt.

<sup>76</sup> Basisjahr der Betrachtung ist das Jahr 2005. Betrachtungszeitraum zur Abbildung der Demografiedynamik sind 30 Jahre. Die Simulation der Dezentalisierungspfade erfolgt zum Bezugszeitpunkt T30 (2005 + 30 = 2035) (s. Abschnitt 11.1).

durchschnittlicher Kanalaufwand von 8,8 m je angeschlossenem EWG. Im Kernsiedlungsgebiet des Hauptortes ist der Erschließungsaufwand erwartungsgemäß unterdurchschnittlich. In peripher gelegenen Ortslagen werden deutlich höhere Werte erreicht (Abbildung 9-3b). Dies liegt zum einen daran, dass dort geringere Dichten vorherrschen und somit der Aufwand der inneren Erschließung deutlich höher liegt, zum anderen an höheren Anteilen der äußeren Erschließung in den abgelegenen Ortsteilen.

### 9.2.3 Baualter

Das Baualter der verlegten Kanäle im Untersuchungsgebiet ist im Siedlungsmodell auf Grundlage von Angaben des örtlichen Entsorgungsunternehmens zum Anschaffungsdatum der Kanäle beschrieben (s. Abschnitt 7.1.2.7). Die Gegenüberstellung der hieraus resultierenden räumlichen Baualtersverteilung der Kanäle mit den oben beschriebenen räumlichen Ausprägungen des Kanalaufwandes weist bereits auf einen Zielkonflikt zwischen den beiden Kriterien Kanalaufwand und Baualter hin (s. Abbildung 9-4).

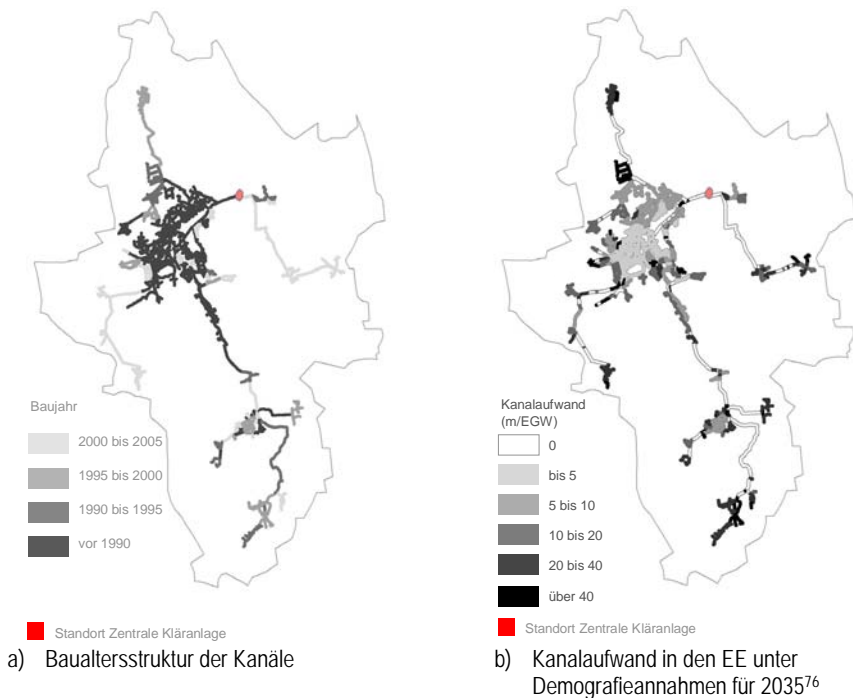


Abbildung 9-4: Räumliche Ausprägung von Kanal-Baualter und Kanalaufwand

Ein überdurchschnittlich hoher Kanalaufwand findet sich überwiegend in Entsorgungseinheiten mit neuen Netzen. Abschnitte mit alten Netzen weisen einen vergleichsweise geringen Kanalaufwand auf. Die Konstellation „altes Netz und hoher Aufwand“ ist die Ausnahme. Gerade diese Konstellation verspricht nach den Kostenentlastungshypothesen aber hohe, durch Dezentralisierung erreichbare, Kosteneinsparpotenziale.

## 9.2.4 Lokales Kosteneinsparpotenzial

### 9.2.4.1 Begriffsfestlegung

Der Begriff des lokalen Kosteneinsparpotenzials (LEP) wird in der vierten Kostenentlastungshypothese mit der Höhe der Kosten beschrieben, die durch die Stilllegung der Kanäle entfallen und somit zu einer lokalen Kostenentlastung führen, abzüglich der Kosten, die durch den Ausbau der dezentralen Struktur entstehen (Transformationskosten) (s. Abschnitt 9.1). Der Zusatz „lokal“ wird hier gewählt, weil das Kosteneinsparpotenzial jeder einzelnen EE lokal betrachtet wird, ohne eine Aufsummierung der Effekte aus mehreren EE vorzunehmen, wie sie dann im Kostenmodell erfolgt (s. Kapitel 10). Es wird unterstellt, dass die Kanäle der betrachteten EE bei Dezentralisierung stillgelegt werden. Damit wird angenommen, dass sich jede EE zum Zeitpunkt der Dezentralisierung am Netzeende befindet. Das LEP kann somit als die Differenz zwischen der lokalen Kostenentlastung infolge des Kanälrückbaus (LKE) und den lokalen Transformationskosten infolge des Ausbaus der dezentralen Entsorgungsinfrastruktur (LTK) ausgedrückt werden (Formel 9-1).

Formel 9-1: *Lokales Kosteneinsparpotenzial LEP*

$$\text{LEP} = \text{LKE} - \text{LTK}$$

Die Größen der lokalen Kostenentlastung (LKE) und der lokalen Transformationskosten (LTK) werden im Vorgriff auf das Kostenmodell definiert (s. hierzu auch Abschnitt 10.4). Die lokale Kostenentlastung (LKE) berücksichtigt entfallende Betriebskosten stillgelegter Kanäle ( $\text{BK}_{\text{Kanal}}$ ) sowie Kapitalkosten der Kanäle, sofern diese das Ende der vorgesehenen Nutzungsdauer erreicht haben<sup>77</sup> ( $\text{KK}_{\text{Kanal(nutzend)}}$ ) (s. Formel 9-2). Es wird davon ausgegangen, dass im Erneuerungszyklus im Falle eines Weiterbetriebs des zentralen Netzes nach Ablauf der Nutzungsdauer unmittelbar Ersatzinvestitionen anfallen, die im Falle der Stilllegung entfallen. Als Bezugsgröße wird die den Netzabschnitten anrechenbare Leitungslänge berücksichtigt, also die Kanäle der inneren Erschließung sowie die anrechenbaren Anteile der äußeren Erschließung (s. Abschnitt 9.2.2.1).

Formel 9-2: *Lokale Kostenentlastung LKE*

$$\text{LKE} = \text{BK}_{\text{Kanal}} + \text{KK}_{\text{Kanal(nutzend)}}$$

Bei den lokalen Transformationskosten (LTK) werden die Kapitalkosten der erforderlichen dezentralen Anlagen ( $\text{KK}_{\text{KKA}}$ ), die Betriebskosten der dezentralen Anlage ( $\text{BK}_{\text{KKA}}$ ) sowie die Kosten berücksichtigt, die aus dem Aufwand für die Stilllegung der Kanäle entstehen ( $\text{K}_{\text{Stilllegung}}$ ) (s. Formel 9-3).

<sup>77</sup> Zur Festlegung der Nutzungsdauer sind entsprechende Annahmen erforderlich. In den hier vorgenommenen Berechnungen wird sie im Referenzfall mit 50 Jahren angenommen (s. Tabelle 12-2).

Formel 9-3: Lokale Transformationskosten LTK

$$LTK = KK_{KKA} + BK_{KKA} + K_{\text{Stilllegung}}$$

Der Bedarf an KKA ergibt sich aus der Anzahl der Gebäude in einer EE, deren Größe und deren Belegung. Letzteres ist abhängig von der demografischen Situation. Diese wird entsprechend des sich einstellenden Referenzzustandes im Bilanzjahr der Kostenbetrachtung angenommen, welches das Jahr 2035 ist (s. Fußnote 76 sowie Abschnitt 11.1). Die Festlegungen zur Berechnung der aufgeführten Größen erfolgen im Kostenmodell (Kapitel 10). Ebenso sind dort die Kostenkennwerte zu entnehmen, die den Berechnungen zugrunde gelegt werden.

#### 9.2.4.2 Ausprägungen im Untersuchungsgebiet

Abbildung 9-5 zeigt die Ausprägungen des lokalen Kosteneinsparpotenzials in den EE, bezogen auf die angeschlossenen Einwohnergleichwerte (EGW).

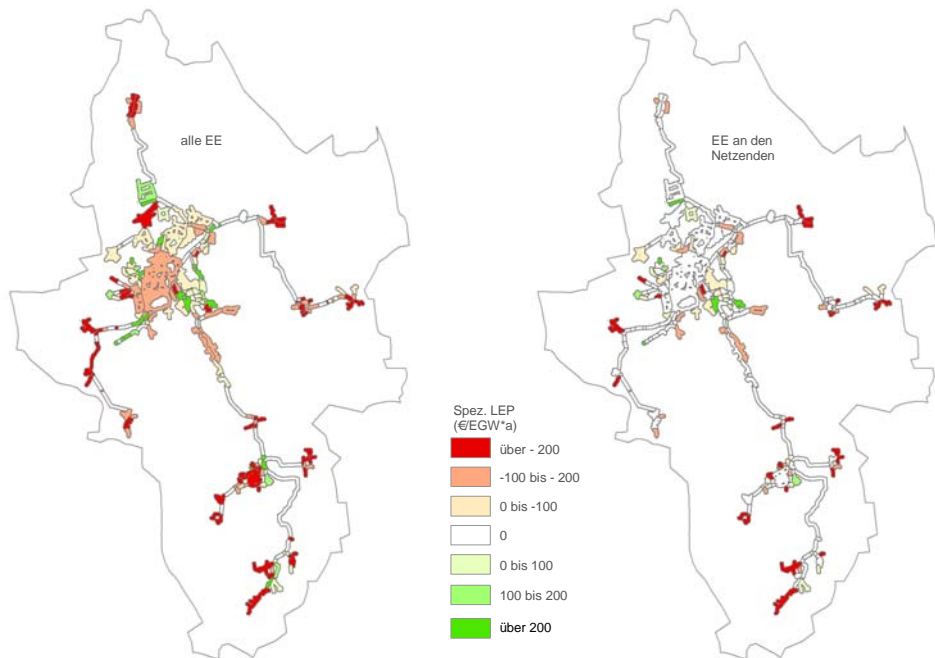


Abbildung 9-5: Lokales Kosteneinsparpotenzial je angeschlossenem EGW (spez. LEP) in allen EE (linke Abbildung) und in den EE an den Netzenden (rechte Abbildung)

Im linken Bild sind die Ausprägungen des spezifischen LEP im Gesamtnetz dargestellt<sup>78</sup>. Stark negative Ausprägungen finden sich vor allem in EE peripherer Ortslage. Hier liegt

<sup>78</sup> In den Entsorgungseinheiten (EE) des Typs „äußere Erschließung“ ist das LEP Null, da dort keine KKA gebaut werden und der Aufwand der verlegten Kanäle den vorgelagerten EE zugerechnet ist.

zwar meist ein vergleichsweise hoher Kanalaufwand an, gleichzeitig sind die Netze aber jung (s. auch Abbildung 9-4). Auch im Kerngebiet des Hauptortes ist das spezifische LEP großflächig negativ. Hier kommen vor allem die hohen Transformationskosten (Ausbau dezentral) aufgrund einer vergleichsweise hohen Dichte zum Tragen. Positive und nur schwach negative LEP finden sich vor allem an Netzen in den Randbereichen des Hauptortes, vereinzelt auch dispers gestreut in EE umliegender Ortslagen. Dies zeigt bereits, dass es Ansatzpunkte zur Kostenentlastung gibt, denn in den dargestellten Netzen können im Ausgangszustand Kosteneinsparungen realisiert werden, ohne dass vorher andere EE abgekoppelt werden müssen, wie es bei integrierten EE der Fall ist. Die vergleichsweise geringe Anzahl an EE mit positivem LEP lässt aber bereits an dieser Stelle vermuten, dass das erreichbare Kostenentlastungspotenzial vermutlich moderat ausfallen wird.

### 9.3 Transformationssequenzen

Transformationssequenzen stellen Dezentralisierungsabfolgen dar. Diese werden unter Nutzung der in Abschnitt 9.2 beschriebenen Kriterien, die auf Grundlage der Kostenentlastungshypothesen formuliert wurden, festgelegt. Das Kriterium Netzende spielt in allen vier formulierten Kostenentlastungshypothesen eine zentrale Rolle. Es bildet damit das Grundkriterium für den Entwurf der Dezentralisierungsabfolgen. Die Transformationsregel lautet demnach, dass nur EE dezentralisiert werden, die sich am Netzende befinden. Damit wird erreicht, dass Netzabschnitte in den betroffenen Versorgungseinheiten abgekoppelt werden können und redundante Strukturen vermieden werden.

Aufgrund der Verästelung des Netzes liegen mehrere EE vor, die sich am Netzende befinden (s. Abschnitt 9.2.1.2). Das Lagekriterium Netzende ist damit zur Festlegung der Dezentralisierungsabfolge nicht ausreichend. Es bedarf weiterer Regeln, um eine Abfolge der Dezentralisierung unter den EE am Netzende festzulegen. Hierzu werden die drei weiteren benannten Kriterien herangezogen.

Als wesentliche kostenbeeinflussende Faktoren werden die Merkmale Kanalaufwand und Kanalbaualter benannt. Wie im vorangegangenen Abschnitt verdeutlicht, sind deren Ausprägungen in den EE des Untersuchungsgebietes hinsichtlich vermuteter Wirkungen auf potenzielle Kostenentlastungen zum großen Teil konträr. Wird bei der Ausrichtung der Dezentralisierungsabfolge eines der beiden Kriterien in den Vordergrund gestellt, so besteht vor dem Hintergrund der vorgefundenen räumlichen Ausprägung der Merkmale die Gefahr, dass hieraus suboptimale Dezentralisierungsabfolgen resultieren, denn die Überlagerung der Wirkungen beider Merkmale wird nicht beachtet. Dies erfolgt mit der Berechnung des LEP. Hier werden Wirkungen der beiden genannten Größen direkt in Kosten ausgedrückt und können so zusammengeführt werden. Die Prioritätenfestlegung der Dezentralisierung der EE an den Netzen unter Beachtung des LEP scheint somit am besten geeignet, Dezentralisierungsabfolgen mit hohen Kostenentlastungspotenzialen aufzuspüren. Eine weitere Transformati-

onsregel lautet damit, dass unter den EE am Netzende diejenige zu dezentralisieren ist, die das höchste LEP aufweist.

Obgleich zu erwarten ist, dass das Kostenentlastungspotenzial bei der einseitigen Ausrichtung der Dezentralisierungsabfolge an einem der beiden Kriterien Kanalaufwand oder Baualter geringer ausfällt als in einer am LEP ausgerichteten Abfolge, werden dennoch zwei weitere Abfolgen beschrieben, die sich jeweils an einem der beiden Kriterien orientieren. Dadurch kann der Einfluss dieser beiden Größen auf die erreichbare Kostenentlastung in die Diskussion mit eingebracht werden. Nach der Transformationsregel, die den Kanalaufwand in den Vordergrund stellt, wird unter den Netzen jeweils die EE mit dem höchsten Kanalaufwand dezentralisiert. Wird am Baualter orientiert, erfolgt die Auswahl der zu dezentralisierenden EE unter Beachtung des höchsten auftretenden Baualters. Der Kanalaufwand wird als reelle Zahl angegeben. Es ist nicht zu erwarten, dass zwei EE exakt denselben Kanalaufwand aufweisen. Mit dem Kriterium Kanalaufwand lässt sich demnach eine Abfolge eindeutig festlegen. Anders ist es bei der Verwendung des Kriteriums Baualter. Dieses wird in Intervallen angegeben. So wird es häufiger vorkommen, dass mehrere EE an den Netzen in dieselbe Baualtersklasse fallen. Bei der Verwendung des Kriteriums Baualter wird deshalb in einer Nebenbedingung zusätzlich der Kanalaufwand betrachtet.

Durch die Anwendung der genannten Transformationsregeln werden somit drei alternative Dezentralisierungsabfolgen entworfen: Die vier Transformationsregeln können in drei Regeln zusammengefasst werden, da die erstgenannte (Netzende) jeweils in die drei nachfolgenden mit eingeht. So lassen sich drei alternative Transformationsregeln formulieren:

- Regel 1: „Netzen mit dem jeweils höchsten LEP zuerst“,
- Regel 2: „Netzen mit dem jeweils höchsten Kanalaufwand zuerst“,
- Regel 3: „Netzen mit dem jeweils höchsten Baualter zuerst, bei gleichem Baualter entscheidet der höchste Kanalaufwand“.

Die Abfolgen entstehen somit aus lagebedingten Abhängigkeiten und aufgrund der Ausprägungen der jeweils herangezogenen Kriterien. Sie werden im Folgenden als Dezentralisierungspfade bezeichnet. Bei Anwendung der aufgeführten Transformationsregeln lassen sich drei alternative Dezentralisierungspfade beschreiben:

- Pfad „LEP“, unter Zugrundelegung von Regel 1,
- Pfad „Kanalauwand“ unter Zugrundelegung von Regel 2 und
- Pfad „Baualter“ unter Zugrundelegung von Regel 3.

Die Berechnung der Pfadabfolge erfolgt im Rahmen einer Tabellenkalkulation (MS Excel, unterstützt durch eine Visual Basic Makroprogrammierung). Dabei werden die Dezentralisierungsschritte einzeln vorgenommen. Nach jedem Schritt wird die Eigen-

schaft „Netzende“ neu ermittelt. Dann wird das entsprechende Kriterium auf die jeweils vorliegenden Netzenden angewendet. Dies wird solange wiederholt, bis das Gesamtnetz „abgekoppelt“ ist. Die Reihenfolge der Schritte wird protokolliert. Somit kann jeder EE eine pfadabhängige Sequenznummer zugeordnet werden. In den Pfaden „Kanalaufwand“ und „Baualter“ erfolgt bei der Generierung der Pfade die Umlage der äußeren Erschließung auf die verbleibenden angebauten EE nach jedem Dezentralisierungsschritt neu. Damit wird die antizipierte Berücksichtigung von Aufwendungen nicht angebauter Kanalabschnitte in nachfolgenden Entsorgungseinheiten ermöglicht. Im Pfad LEP wurde aus Gründen der Modellvereinfachung auf dieses dynamische Element verzichtet. Hier erfolgt die Umlage der äußeren Erschließung einmalig zum Ausgangszustand.

In Abbildung 9-6 sind die aus der Anwendung der Transformationsregeln resultierenden Pfadabfolgen grafisch dargestellt.

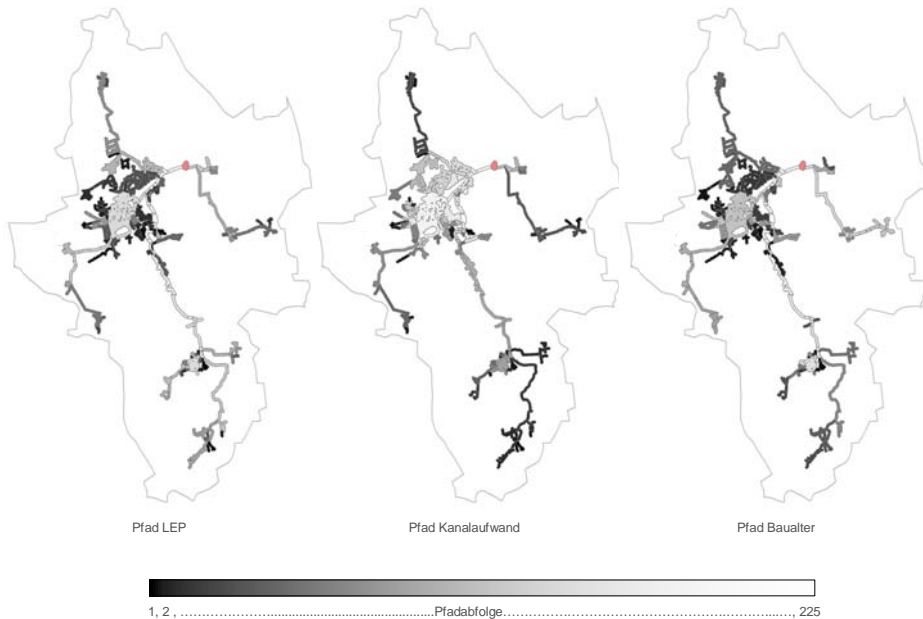


Abbildung 9-6: Transformationssequenzen der alternativen Dezentralisierungspfade

Entsprechend der Anzahl der gebildeten EE werden jeweils 225 Dezentralisierungsschritte durchlaufen, bis das zentrale System des Entsorgungsgebietes im theoretischen Endzustand vollständig in ein dezentrales überführt ist. Die sich ergebende Pfadabfolge kommt in der Einfärbung der EE mit unterschiedlichen Grautönen zum Ausdruck. Dunkle Einfärbungen markieren Positionen am Anfang der Dezentralisierungsabfolge, helle Einfärbungen Positionen am Ende der Abfolgen. Dazwischen verlaufen die Übergänge über die 225 Dezentralisierungsschritte fließend.

In den drei Bildern spiegeln sich die oben aufgeführten räumlichen Strukturen der Ausprägungen der Kriterien zur Festlegung von Dezentalisierungsabfolgen wider. Aus der Einfärbung der EE im Pfad LEP lässt sich nur schwer ein räumliches Muster der Pfadabfolge erkennen. Dunkle Einfärbungen, die vordere Plätze in der Dezentalisierungsabfolge einnehmen, finden sich über das gesamte Entsorgungsgebiet verteilt. Auffallend ist jedoch die großflächige dunkle Einfärbung von EE an den Randgebieten des Hauptortes. Im Abbild des Pfades Kanalaufwand zeigt sich eine deutlichere Struktur. Hier zeichnet sich ein klares Kontraktionsbild ab, bei dem die Dezentalisierung in der Tendenz an den Rändern abgelegener Ortslagen ansetzt und sich dann in Richtung Siedlungskern des Hauptortes fortsetzt. Das Bild im Pfad Baualter tendiert wieder mehr zum oben beschriebenen Bild des Pfades LEP. Dunkle Einfärbungen sind hier noch deutlicher an den Arrondierungen des Hauptortes auszumachen.





## 10 Kostenmodell

In den vorangegangenen Kapiteln 6 bis 9 sind die Grundlagen beschrieben, die eine Abbildung der Physis von Dezentalisierungsprozessen zentral erschlossener Entsorgungsgebiete ermöglichen. Um hieraus Kostenwirkungen zu ermitteln, werden physische Veränderungen simuliert, diese in Kostengrößen transformiert und finanzmathematisch aufbereitet. Die Grundlagen hierfür werden im Kostenmodell gelegt.

### 10.1 Vorüberlegungen

#### 10.1.1 Allgemeine Anforderungen

Kostenvergleichsrechnungen orientieren sich in der abwasserwirtschaftlichen Praxis an vorliegenden Leitlinien des Unterausschusses „Wirtschaftlichkeitsfragen in der Wasserwirtschaft“ der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 2005). Hierin werden methodische Fragen zur Durchführung von Kostenvergleichsrechnungen in der Abwasserwirtschaft diskutiert und Verfahrensvorschläge gemacht. Es wird hervorgehoben, dass die konkrete Ausgestaltung des heranzuziehenden Verfahrens stets unter Berücksichtigung fallspezifischer Gegebenheiten zu erfolgen hat (LAWA 2005, 1-1). Demnach ist zunächst erforderlich, die Bewertungsfrage konkret zu fassen.

Die vorliegende Arbeit fragt nach Kostenwirkungen der Überführung eines vorhandenen zentralen Abwassersystems in ein System, bestehend aus zentral und dezentral entsorgten Teilgebieten. Dabei soll die zentrale Entsorgungsinfrastruktur soweit erhalten bleiben, soweit hieraus Kostenvorteile erwachsen. Dezentralisierung soll soweit erfolgen, soweit dies zu Kostenentlastungen gegenüber dem Systemerhalt führt. Damit ist die Suchrichtung gegeben:

- Gibt es Dezentalisierungszustände, die bei gleicher Leistung gegenüber dem Verbleib im vorhandenen System geringere Kosten verursachen?

Im Sinne von Grenzbetrachtungen kann diese Suchrichtung weiter präzisiert werden:

- Welches ist die maximale Dezentalisierungstiefe, bei der sich Kostenvorteile gegenüber dem Systemerhalt einstellen?
- Welches sind die durch Dezentralisierung maximal erzielbaren Kostenentlastungen gegenüber dem Systemerhalt?

Die zu erbringende Leistung der Abwassersysteme ist mit der Höhe der Nachfrage durch das Siedlungsmodell beschrieben. Gegeben sind die Anzahl und räumliche Verteilung der Abwasserproduzenten und damit auch implizit die zu entsorgende Wassermenge und die Orte des Anfalls. Hinsichtlich der alternativen technischen Lösungsmöglichkeiten ist die Anforderung nach Nutzengleichheit zu stellen (siehe auch LAWA 2002, 1-2). Dies kann bei vorliegender Technik der in Betracht gezogenen dezentralen Anlagen unterstellt werden.

Die Verfahrensvorschläge des zitierten LAWA-Leitfadens sind auf Vergleichsbetrachtung bereits definierter Zustände ausgerichtet. Diese sind beim vorliegenden Bewertungsfall nicht bekannt. Für die Aufgabe, einen möglichen Zielzustand näher zu beschreiben, leisten die vorliegenden Verfahren wenig Unterstützung. Weiter fokussieren die vorliegenden Ansätze auf den Ausbau alternativer Lösungen. Fragen des Systemumbaus und damit zusammenhängende Aspekte der Wirkungen betrachteter Alternativen auf bereits vorhandene Systeme, wie sie sich hier stellen, werden nicht ausreichend reflektiert. Es muss also, gemäß der allgemeinen Vorgabe des LAWA-Leitfadens, nach anderen kreativen Lösungen der Kostenbewertung gesucht werden, die den hier gestellten Fragen gerecht werden.

### 10.1.2 Vergleichbarkeit von Zahlungsströmen

Um eine Vergleichbarkeit betrachteter Ausgaben und Kosten<sup>79</sup> herzustellen, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten anfallen, bedarf es einer finanzmathematischen Aufbereitung. Hier bieten die Verfahren der dynamischen Kostenvergleichsrechnung zwei grundsätzliche Möglichkeiten an, die Bildung von Kostenbarwerten und die Bildung von Jahreskosten.

In beiden Fällen wird der zeitlich unterschiedliche Anfall der Ausgaben und Kosten durch Auf- oder Abzinsung berücksichtigt. Bei der Bildung von Kostenbarwerten werden die Zahlungsströme des Betrachtungszeitraumes auf einen einheitlichen Bezugszeitpunkt bezogen und so vergleichbar gemacht. In der Annuitätenmethode erfolgt eine Berechnung von Jahreskosten. Dabei werden einmalig anfallende Zahlungen in gleich bleibende nachschüssige Periodenzahlungen (Annuität) umgerechnet und regelmäßig auftretende Jahreskosten entsprechend übernommen (LAWA 2005, 5-1 ff., Wöhe 2002, 622 ff.). Annuitäten können in Kostenbarwerte umgerechnet werden und umgekehrt. Zum Zwecke des Kostenvergleichs sind beide Verfahren grundsätzlich gleichwertig.

Im hier entwickelten Verfahren erfolgt der Kostenvergleich auf Basis von Jahreskosten, die unter Anwendung der Annuitätenmethode ermittelt werden.

---

<sup>79</sup> „Ausgaben“ ist ein Begriff des betrieblichen Rechnungswesens. Hierunter werden Auszahlungen oder das Eingehen von Verbindlichkeiten gefasst, die zu einer Abnahme des Geldvermögens eines Unternehmens führen. Ausgaben und Kosten sind identisch, wenn Werteverzehr und Ausgabe auf denselben Abrechnungszeitraum fallen und es sich um eine dem Betriebszweck dienende Ausgabe handelt. Dies ist im Falle laufender Kosten (vgl. Abschnitt 10.3.1) in der Regel der Fall, nicht im Falle von Investitionsausgaben, die Güter betreffen, die über mehrere Perioden genutzt werden. Diese sind mit entsprechenden finanzmathematischen Verfahren in kalkulatorische Kosten umzurechnen (u. a. Gabler 1992, 257; Wöhe 2002, 826 ff.)

## 10.2 Kostenbegriff

### 10.2.1 Verwendeter Kostenbegriff

Der Arbeit wird ein wertmäßiger Kostenbegriff im Sinne der betriebswirtschaftlichen Kosten- und Leistungsrechnung zugrunde gelegt. „Demnach sind Kosten der bewertete Verbrauch von Gütern und Dienstleistungen für die Herstellung und den Absatz von betrieblichen Leistungen und der Aufrechterhaltung der dafür erforderlichen Kapazitäten“ (Wöhe 2002, 1083).

Dieser Kostenbegriff entspricht grundsätzlich auch dem Kostenbegriff, wie er der Gebührenkalkulation zugrunde zu legen ist (z. B. SächsKAG § 11). Allerdings unterscheidet sich die hier anzustellende Kostenkalkulation von der Kostenberechnung, die im Rahmen der Entgeltermittlung vorgenommen wird, im Umfang der einbezogenen Kostenpositionen (s. Abschnitt 10.2.3).

### 10.2.2 Grenzkostenbetrachtung

Gegenstand der Betrachtungen sind Veränderungen der Gesamtkosten der Abwasserentsorgung, die durch Dezentralisierung hervorgerufen werden. Dies umfasst Kostensteigerungen, die z. B. infolge neuer Investitionen entstehen sowie Kostenentlastungen, die z. B. nach Abkopplung von Kanalabschnitten aufgrund vermiedener Betriebskosten erreicht werden können. Wird eine Abfolge von Dezentralisierungsschritten betrachtet, ist die Summe der Kostenveränderungen von Interesse. Der Kostenblock, der von der Anpassung nicht berührt wird und der damit in den betrachteten alternativen Zuständen unverändert bleibt, geht nicht in die Betrachtung mit ein, da hiervon keine Kostenveränderungen ausgehen.

Werden Zuwächse und Rückgänge der Gesamtkosten als Folge von Dezentralisierungsmaßnahmen als Grenzkosten interpretiert, kann das Verfahren als kumulierte Grenzkostenbetrachtung bezeichnet werden. Dabei ist jedoch auf die in der Betriebswirtschaftslehre abweichende Begriffsdefinition von Grenzkosten hinzuweisen. In der betriebswirtschaftlichen Kostentheorie wird der „Zuwachs zu den Gesamtkosten, der durch die Produktion der jeweils letzten Ausbringungseinheit verursacht wird“ als Grenzkosten bezeichnet (Wöhe 2002, 374). Bei dieser Verwendung des Grenzkostenbegriffs steht die Ermittlung einer optimalen Produktionsmenge unter gewissen Prämissen im Vordergrund. Im vorliegenden Fall wird nach „optimalen“ Dezentralisierungsgraden gesucht. Optimierungskriterien können mit den in Abschnitt 10.1.1 genannten Präzisierungen der Suchrichtung begründet werden.

### 10.2.3 Abgrenzung zur Kostenermittlung der Gebührenkalkulation

Auch die Kostenermittlung, die im Rahmen der Entgeltkalkulation vorgenommen wird, orientiert sich am wertmäßigen Kostenbegriff. Vorgaben zum Umfang der zu berücksichtigenden Kostengrößen finden sich in den Kommunalabgabengesetzen der Länder, in Gemeindehaushaltsverordnungen sowie in Kommunalverfassungen (BGW 1998, 11). Sie sind in den Ländern unterschiedlich geregelt. Dies betrifft insbesondere die Berücksichtigung von beitrags- und zuschussfinanziertem Anlagevermögen im Rahmen der Kostenkalkulation. Die Bandbreite der Regelungen erstreckt sich vom Ausschluss über Wahlfreiheit bis zur verbindlichen Einforderung der Berücksichtigung dieser Größen (BGW 1998: 45). Im sächsischen Kommunalabgabengesetz wird ausdrücklich die Berücksichtigung kalkulatorischer Kostenpositionen eingefordert, wie z. B. die angemessene Verzinsung des in den Anlagen gebundenen Kapitals und die Berücksichtigung einer angemessenen Abschreibung (SächsKAG § 11). Bei der Kalkulation von Zins und Abschreibung ist jedoch die Bemessungsgrundlage um so genannte Kapitalzuschüsse<sup>80</sup> zu kürzen. Hierunter fallen u. a. einmalig zu entrichtende Kanalanschlussbeiträge, welche vom Grundstücksbesitzer bei Anschluss eines Gebäudes an die Kanalisation zu leisten sind.

Das dieser Arbeit zugrunde liegende Berechnungsverfahren macht diese Unterscheidung nicht. Bemessungsgrundlage für Abschreibung und Zins ist der gesamte gebundene Kapitalstock, unabhängig davon, über welche Kanäle die Finanzierung geregelt ist. Damit soll gewährleistet werden, dass alle relevanten auftretenden Kostenwirkungen Berücksichtigung finden.

### 10.2.4 Abgrenzung zum Kostenbegriff der Kameralistik

Bis zur derzeit laufenden Einführung der Doppik war die Kameralistik in den Kommunalhaushalten das vorherrschende System der Haushaltsrechnung. Nachdem die Innenministerkonferenz im Jahr 2003 ihre Beschlüsse für die Neuordnung des kommunalen Haushaltsrechts gefasst hat, hat die Umstellung der kameralistischen Haushaltsführung auf ein System des doppelischen Rechnungswesens in den meisten Ländern inzwischen begonnen (Deutscher Städte- und Gemeindebund 2008).

Kosten im Sinne der Kameralistik sind Zahlungsausgänge innerhalb einer definierten Periode. Das kameralistische System der Einnahmen-/Ausgabenrechnung zielt auf eine finanzwirtschaftliche Kontrolle von Verwaltungshandeln ab. Es ermöglicht jederzeit die Überprüfung, ob innerhalb einer Periode verfügbare Finanzmittel bereits ausgeschöpft sind oder noch zur Verfügung stehen. Insbesondere für Planungsaufgaben greift dieser Kostenbegriff, bei dem von pagatorischen Kosten gesprochen wird (s. Wöhe 2002, 1083), zu kurz. Ausgaben können in einer früheren oder späteren Periode erfolgen als

---

<sup>80</sup> Dies sind Zuschüsse und Zuweisungen, die zur Bildung von Eigenkapital gewährt worden sind.

die Inanspruchnahme der damit verbundenen Leistung. Eine ursachenbezogene Zuordnung der Kosten zum entsprechenden Güter- und Dienstleistungsverbrauch kann beim pagatorischen Ansatz somit nicht erfolgen (s. BGW 1998, 7). Im vorliegenden Ansatz steht aber die ursachenbezogene Kostenzuordnung entsprechend des Werteverzehrs im Vordergrund (s. Abschnitt 10.2.1). Der verwendete Kostenbegriff weicht somit vom kameralistischen Kostenverständnis ab.

### 10.3 Kostenarten

Die für die Bereitstellung der Anlagen der Abwasserentsorgung anfallenden Kosten können nach Kostenarten unterschieden werden. Üblicherweise werden laufende Kosten von Kapitalkosten unterschieden. Hierauf wird im Folgenden eingegangen. Außerdem werden Effekte betrachtet, die im Kontext des Rückbaus noch funktionsfähiger Anlagen auftreten und die bei der Kostenbewertung Berücksichtigung finden müssen. Dies betrifft den Umgang mit einmaligen Zahlungen, die beispielsweise durch Stillstellungsmaßnahmen auftreten, sowie Fragen zum Umgang mit Buchwertverlusten.

#### 10.3.1 Laufende Kosten

Betriebs- und Instandhaltungskosten sind die zum Betrieb, zur Wartung, Unterhaltung und Überwachung von Anlagen erforderlichen Aufwendungen. Sie treten in der Betriebsphase regel- oder unregelmäßig auf. In der KVR-Richtlinie wird diese Kostenart deshalb auch als laufende Kosten bezeichnet (LAWA 2005, 3-2). Hierzu zählen Personal-, Sach- und Energiekosten des laufenden Betriebs (z. B. Sander 2003, 173).

Die Ausdifferenzierung der hierin enthaltenen Kostenarten ist unterschiedlich. BGW (1998, 20) unterscheidet Materialkosten, Kosten für bezogene Leistung, Personalkosten, sonstige Betriebskosten, Abwasserabgabe und betriebliche Wagnisse. Siedentop et al. (2006, 120 ff.) fassen die Gruppen anders zusammen. Sie unterscheiden auslastungsabhängige (variable) Kostenblöcke von auslastungsunabhängig (fix) auftretenden Betriebskostenarten. In Grenzen variabel sind Betriebskosten „für den eigentlichen technischen Betrieb der Anlagen (Medientransport<sup>81</sup>, Reinigung, Inspektion)“ (Siedentop et al. 2006, 145). Diese Betriebskosten werden weiter nach Lastzuständen unterschieden: Betriebskosten bei Normalbetrieb und auslastungsbedingte Betriebskosten, die bei Überschreitung von Funktionsschwellen zusätzlich auftreten (s. Abschnitt 4.2). Als weitestgehend auslastungsunabhängig werden Instandhaltungs- und Wartungskosten sowie Verwaltungskosten angesehen.

Diese Arbeit folgt bei der Unterscheidung von laufenden Kosten der Systematik von Siedentop et al. (2006). Diese hält eine geeignete Struktur vor, mögliche Auslastungs-

---

<sup>81</sup> Dies gilt vor allem für Trinkwasser, zum Teil auch für Abwasser (z. B. bei Druckleitungen).

schwankungen, die sich z. B. infolge veränderter Bevölkerungszahlen und infolge einer Abkopplung von Entsorgungseinheiten im Zuge der Transformation einstellen können, im Kostenmodell zu berücksichtigen.

### 10.3.2 Kapitalkosten

Kapitalkosten sind kalkulatorische Kostengrößen, denen in der Regel keine gleichwertigen Buchungen der Finanzbuchhaltung in der entsprechenden Periode gegenüberstehen. Sie bilden den tatsächlichen Werteverzehr des in den Anlagen gebundenen Kapitals ab. BGW (1998, 22) unterscheidet hier zwischen kalkulatorischen Abschreibungen, kalkulatorischen Zinsen und kalkulatorischen Wagnissen. Kapitalkosten können auf Grundlage der Investitionsausgaben<sup>82</sup> in Form von Annuitäten berechnet werden. Diese berücksichtigen die kalkulatorische Abschreibung sowie die kalkulatorischen Zinsen. Die von BGW (1998, 22) aufgeführten kalkulatorischen Wagnisse beziehen sich auf unvorhersehbare Schadensereignisse, die auf natürliche und/oder technische Ursachen zurückzuführen sind. Diese Wagnisse können durch den Abschluss von Versicherungen gemindert werden. Empfohlen wird, hieraus entstehende Kosten als kalkulatorische Kosten zu berücksichtigen. In der hier vorgenommenen Betrachtung ist diese Position Teil der pauschal berücksichtigten Verwaltungskosten, die zu den laufenden Kosten zählen.

### 10.3.3 Einmalig auftretende Zahlungen

Investitionsausgaben stellen einmalige Zahlungen bzw. Ausgaben dar, bei denen ein Gegenwert geschaffen wird. Dieser wird über die Nutzungsdauer „aufgezehrt“ und kann über die Bildung von Annuitäten auf die Nutzungsdauer umgelegt werden (s. Abschnitt 10.3.2). Hiervon sind einmalige Ausgaben zu unterscheiden, die bei Stilllegung und Rückbau vorhandener Anlagen entstehen. Diese Ausgaben erzeugen für sich alleine keinen direkten Gegenwert. Es handelt sich hierbei auch um keine Desinvestitionen, bei der ggf. gebundenes Kapital durch Verkauf der Vermögensgegenstände wieder freigesetzt wird (s. hierzu Gabler 1992, 761), denn die betroffenen Anlagegüter können nach Stilllegung in der Regel keinem alternativen Verwendungszweck zugeführt werden.

Siedentop et al. (2006, 121 f.) weisen entsprechende Ausgaben, die durch Rückbau und Stilllegung entstehen, im Rahmen ihres Kostenbilanzierungsmodells aus, beziehen diese aber nicht in die Infrastrukturkostenbilanz mit ein. Sie betrachten dabei den Fall

---

<sup>82</sup> Investitionsausgaben werden in einschlägigen Werken und Gesetzestexten auch als Investitionskosten, Anschaffungs- oder Herstellungskosten bezeichnet (u.a. Sander 2003, 172; LAWA 2005, 3-1, SächSKAG). Nach dem betriebswirtschaftlichen Begriffsverständnis handelt es sich hier aber um Ausgaben (siehe auch Fußnote 79), sodass die Verwendung des Kostenbegriffs an dieser Stelle irreführend ist.

des kompletten Rückzugs aus bestehenden Gebieten, die zum Abriss vorgesehen sind. Im vorliegenden Bewertungsfall markiert die Stilllegungsmaßnahme im Gegensatz dazu nicht das Ende der Nutzung abwassertechnischer Anlagen eines Gebietes. Die Stilllegungsmaßnahmen sind vielmehr eingebunden in eine komplexe Umbaumaßnahme der Anlagen innerhalb der betroffenen Teilgebiete. Im Zuge des Umbaus werden Anlagen stillgelegt, andere (dezentrale) neu errichtet und im Ergebnis entsteht eine veränderte Struktur mit adäquatem Nutzen. Stilllegungsmaßnahmen können somit als Investitionsausgaben interpretiert werden, die im Zuge des Systemumbaus anfallen<sup>83</sup>. Vor diesem Hintergrund können Ausgaben für Stilllegungsmaßnahmen und Rückbau hier als Investitionsausgaben interpretiert werden, die im Zuge der Anpassungsmaßnahmen fällig werden. Dadurch lassen sich die hieraus resultierenden Zahlungen entsprechend des Umgangs mit den „klassischen“ Investitionsausgaben in Annuitäten umrechnen. Hierbei sind geeignete Annahmen zur zugrunde zu legenden Nutzungsdauer zu treffen (s. Abschnitt 10.5.1.2).

#### 10.3.4 Wertverlust und sunk costs

Werden Anlagenbestände vor Ende ihrer wirtschaftlichen Nutzungsdauer stillgelegt, spricht die Finanzbuchhaltung von einem außerordentlichen Aufwand, der in der Bilanz in Form von Sonderabschreibungen Berücksichtigung findet. Außerordentliche Aufwendungen entstehen, wenn Anlagen einen plötzlichen und ungeplanten Wertverlust erfahren. Hierzu zählt auch der Wertverlust, der durch den Abriss beispielsweise eines Gebäudes vor Ende der in der Finanzbuchhaltung zugrunde gelegten Nutzungszeit entsteht (Stahl 2006, 32). Dies kann analog auf die hier betrachteten Abwasseranlagen übertragen werden.

Größen der Finanzbuchhaltung sind aber nicht ohne weiteres in die Kostenrechnung übertragbar. Die beiden Bereiche des betrieblichen Rechnungswesens verfolgen grundsätzlich unterschiedliche Ziele, sprechen unterschiedliche Adressaten an und verwenden abweichende Berechnungsmodi. So zählt die Finanzbuchhaltung zum externen Rechnungswesen. Hier werden die Bilanz und die Gewinn- und Verlustrechnung erstellt. Sie richtet sich an externe Adressaten wie Gläubiger, Lieferanten, Anteilseigner oder die Finanzbehörde. Die Bilanzierungsregeln unterliegen klaren gesetzlichen Vorgaben. Die Kostenrechnung ist dagegen ein managementorientiertes internes Berichtswesen. Im Vordergrund steht die Bewertung interner Prozesse zur Unterstützung vielfältiger Steuerungsaufgaben (s. Stahl, 2006, 12 ff.; Wöhe 2002, 823 ff.).

Aufwendungen, neben Erträgen die zentrale Größe der Finanzbuchhaltung, sind nicht gleichzusetzen mit Kosten nach dem Begriffsverständnis der Kosten- und Leistungs-

---

<sup>83</sup> Analog wird bei der Kostenermittlung beim Umbau von Gebäuden vorgegangen, wo Abbrucharbeiten nach DIN 276 in die Baukosten mit eingehen (vgl. Schmitz et al. 1997, 49).



rechnung. So werden beispielsweise in der Finanzbuchhaltung nur Zinsen auf das Fremdkapital erhoben und als Aufwand verbucht, in der Kostenrechnung wird dagegen das gesamte betriebsnotwendige Kapital verzinst, unabhängig davon, ob es sich dabei um Eigen- oder Fremdkapital handelt. Die Abschreibung wird in der Finanzbuchhaltung nach steuerlichen oder finanzierungspolitischen Überlegungen bestimmt und stimmt nicht zwingend mit der tatsächlichen, planmäßigen Wertminderung überein, die Maßgabe der kalkulatorischen Abschreibung der Kostenrechnung ist (s. Wöhe 2002, 1093). Der in der Bilanz berücksichtigte außerordentliche Aufwand, der durch frühzeitigen Abriss von Anlagen entsteht, entspricht demnach nicht dem planbaren Ressourcenverbrauch. Er stellt somit keine Kosten im Sinne des hier zugrunde liegenden Kostenbegriffs der betrieblichen Kosten- und Leistungsrechnung dar (Stahl 2006, 32 f.). In der Finanzbuchhaltung führt der außerordentliche Aufwand zu einer bilanziellen Wertberichtigung. In welcher Höhe diese anzusetzen ist, ist neben dem Baualter und der Höhe der Bemessungsgrundlage abhängig von der in der Finanzbuchhaltung angewendeten Abschreibungsmodalität, die nicht zwingend den realen Werteverzehr widerspiegelt. In welcher Form sich diese Berichtigung in der Gewinn- und Verlustrechnung sowie in der Bilanz niederschlägt, ist mitunter abhängig von der zugrunde liegenden Finanzierungsstruktur. Beides sind Zusammenhänge, die in der Kostenbetrachtung nicht berücksichtigt werden.

Vorliegende Arbeiten weichen von diesem Begriffsverständnis zum Teil ab. So werden in Koziol et al. (2006a, 20) Buchwertverluste, die bei vorzeitiger Stilllegung von Anlagen auftreten, als Kosten bezeichnet. In dort aufgeführten Ergebnissen von Modellrechnungen geht die „Wertkorrektur Altnetz“, also der zu bilanzierende außerordentliche Aufwand bei vorzeitiger Stilllegung, als eine von mehreren Positionen in eine vereinfachte Kostenbetrachtung ein. Hier werden offensichtlich die Begriffe Kosten und Aufwand synonym verwendet, was vor dem Hintergrund der vorangegangenen Ausführungen in diesem Zusammenhang kritisch zu sehen ist. Andere Arbeiten belegen den außerordentlichen Wertverlust zwar mit dem Kostenbegriff, schließen ihn dann aber aus der eigentlichen Kostenbetrachtung aus (Siedentop 2006, 121; Reidenbach et al. 2008, 358).

Wenn der bilanzielle Wertverlust keine Kosten nach dem hier verwendeten Kostenbegriff darstellt, stellt sich die Frage, auf welchem Weg der noch vorhandene Nutzwert der betroffenen Anlagenteile Eingang in die Kostenrechnung finden kann. Hier ist wieder auf die in Abschnitt 4.3.2 bereits angesprochene Besonderheit abwasserwirtschaftlicher Anlagen zu verweisen. Es handelt sich hierbei überwiegend um Anlagenteile, die nach Einbau nicht wieder veräußert oder einer anderen Nutzung zugeführt werden können. Die Kostentheorie bezeichnet „spezifische Kosten eines Anlagengutes ohne alternative Verwendungsmöglichkeiten“ als sunk costs. „Sie sind temporäre fixe Kosten eines Kapitalgüterbestandes, die zumindest kurzfristig nach Stilllegung weiter bestehen“ (Gabler 1992, 3210). Diesem Ansatz folgend, werden in mehreren Veröf-

fentlichungen die Kapitalkosten der Abwasseranlagen als sunk costs interpretiert (u. a. Geyler, Holländer 2005, 9 ff.; Hiesl et al. 2003; Tietz 2008; Herbst 2008).

Dieser Interpretation wird auch in dieser Arbeit gefolgt. Demzufolge bleiben die kalkulatorischen Kosten (Kapitalkosten) von Anlagenteilen bis ans Ende der vorgesehenen Nutzungsdauer bestehen, unabhängig davon, ob eine Stilllegung erfolgt oder ob die Anlagenteile weiterbetrieben werden.

## **10.4 Relevante Kostenarten für das Bewertungsverfahren**

Physische Veränderungen im Anlagenbestand und dessen Auslastung stellen die Aktionsparameter dar, aus denen Kostenveränderungen resultieren. Nach Wöhe (2002, 1084) können Kosten, die von den Aktionsparametern funktional abhängig sind, im Rahmen entscheidungsorientierter Kostenrechnungen, um die es sich hier handelt, als relevante Kosten bezeichnet werden.

In Abschnitt 10.2.2 wurden mit der Bestimmung des Betrachtungsgegenstandes des Kostenmodells die Hauptgruppen der relevanten Kosten bereits benannt. Es handelt sich hierbei um Zusatzkosten (Kostensteigerungen) sowie um Kostenentlastungen (wegfallende Kosten), die durch Dezentralisierungsanpassungen im Gesamtsystem hervorgerufen werden. Diese beiden Gruppen werden nachfolgend näher spezifiziert.

### **10.4.1 Zusatzkosten (Transformationskosten)**

Unter Zusatzkosten werden alle Kosten gefasst, die infolge baulicher Maßnahmen der Dezentralisierungsanpassung im Gesamtsystem entstehen. Sie können somit als Transformationskosten bezeichnet werden. Diese resultieren aus dem Bau und dem Betrieb der dezentralen Anlagen, aus baulichen Anpassungen an zentralen Komponenten sowie aus Maßnahmen zur Vermeidung funktionaler Beeinträchtigungen des verbleibenden zentralen Netzes infolge des Wegfalls des Abwassers der entkoppelten Entsorgungseinheiten.

Durch den Bau der dezentralen Anlagen erhöht sich das betriebsnotwendige Kapital um die erforderlichen Herstellungsausgaben. Es entstehen zusätzliche Investitionsausgaben, die zu einer Erhöhung der Kapitalkosten führen. Aus dem Betrieb der dezentralen Anlagen resultieren zusätzliche laufende Kosten.

Bauliche Anpassungen an zentralen Komponenten werden bei Stilllegung und Rückbau von Kanalabschnitten erforderlich. Entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 10.3.3 können hieraus resultierende Zahlungen als Investitionsausgaben interpretiert werden, die ebenfalls zu einer Erhöhung der Kapitalkosten führen. Abhängig von der funktionalen Einbindung des betroffenen Abschnitts können auch Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der Funktionstüchtigkeit des bestehenden Netzes erforderlich sein, wie z. B. die Sicherstellung der Durchleitung bei Abkopplung integrierter Entsorgungs-

einheiten (wird hier nicht betrachtet, da nur Netzen dezentralisiert werden). Hieraus resultieren zusätzliche Betriebs- und Kapitalkosten.

Werden EE dezentralisiert, verringert sich die Abwassermenge im verbleibenden Netz. Dadurch kommt es zu Auslastungsrückgängen, die bei Überschreitung kritischer Auslastungsschwellen unterauslastungsbedingte Betriebskosten nach sich ziehen können (s. Abschnitt 4.2). Wird dem durch zusätzliche Maßnahmen entgegengewirkt, können unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten entstehen.

Bilanzielle Wertverluste stellen nach dem hier verwendeten Begriffsverständnis keine Kosten dar. Kapitalkosten stillgelegter Anlagenkomponenten bleiben über deren ursprünglich vorgesehene Restnutzungsdauer weiter bestehen (s. Abschnitt 10.3.4). Diese Kosten werden von den Umbaumaßnahmen nicht berührt und zählen somit nicht zu den relevanten Kosten.

Demnach können Transformationskosten folgende Positionen umfassen:

- Kapitalkosten aus dem Ausbau der dezentralen Struktur,
- Kapitalkosten aus Stilllegung, Rückbau und sonstigen Anpassungen zentraler Komponenten, die durch die Abkopplung von Entsorgungseinheiten erforderlich werden,
- laufende Kosten des Betriebs der dezentralen Struktur,
- unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten im verbleibenden Netz, verursacht durch Auslastungsrückgänge in Folge der Abkopplung von Entsorgungseinheiten,
- laufende Kosten zusätzlicher zentraler Komponenten, die im Rahmen der Anpassung erforderlich werden.

#### **10.4.2 Kostenentlastungen**

Kostenentlastungen entstehen, wenn im Rahmen der Transformation der zentrale Anlagenbestand reduziert wird und dadurch bislang notwendige Betriebs- und Erhaltungsaufwendungen sowie Ersatzinvestitionen entfallen können.

Werden Kanalabschnitte stillgelegt, entfallen die laufenden Kosten für die Aufrechterhaltung des Betriebs des entsprechenden Abschnitts. Treten in den von der Abkopplung betroffenen Einheiten unterauslastungsbedingte Betriebskosten auf, entfallen auch diese nach der Stilllegung des betroffenen Abschnitts. Am Ende der Lebensdauer von Anlagenteilen (s. Fußnote 77) müssen diese erneuert werden, wenn das System in der bisherigen Form weiterbetrieben werden soll. Hieraus resultieren Kapitalkosten. Diese entfallen, wenn die Entsorgungsleistungen durch alternative Systeme erbracht werden.

Demnach können Kostenentlastungen folgende Positionen umfassen:

- Kapitalkosten in Höhe von Ersatzinvestitionen, die durch Transformation entfallen,

- laufende Kosten in Höhe der Betriebs- und Erhaltungsaufwendungen der abgekoppelten Einheiten unter Normalbetrieb,
- unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten in den von der Abkopplung betroffenen Einheiten.

## 10.5 Kostenkennwerte

Die Planungsliteratur hält zahlreiche Hinweise zu spezifischen Kostenkennwerten bereit. Diese beziehen sich in der Regel auf Auswertungen empirischer Daten. Obgleich diese zum Teil erhebliche Streubreiten aufweisen, stellen sie für frühe Planungsphasen geeignete Größen für die Darstellung von Kostenwirkungen prinzipieller Varianten dar (Sander 2003, 89 ff.).

Eine umfangreiche Zusammenstellung von Kostenkennwerten für Planungsaufgaben der kommunalen Abwasserbeseitigung liefert Halbach (2003). Er führt spezifische Kostenwerte insbesondere für die Hauptkomponenten zentraler Entwässerungssysteme auf. Die Angaben beruhen auf Projekterfahrungen des bearbeitenden Ingenieurbüros, die hierfür systematisch ausgewertet wurden. Angegeben werden normative Kostenkennwerte. „Normativkosten sind in der Regel unterdurchschnittliche Kostenangaben, die nach Erfahrung und Beobachtung unter den Bedingungen einer tatsächlichen Kostenkontrolle und mit einer gewissen Anstrengung grundsätzlich erzielbar sind“ (Halbach 2003, 3). Sie liegen in der Tendenz somit etwas unterhalb von Literaturdurchschnittswerten. Die Kostenkennwerte werden als Funktion wesentlicher Einflussparameter in Form von Diagrammen angegeben, aus denen der Bemessungsanforderung entsprechende Werte entnommen werden können (z. B. „Baukosten“ für Freispiegelsammler in €/m in Abhängigkeit von Nennweite DN, Verlegetiefe und Bodenklasse). In der Planungspraxis insbesondere der neuen Länder ist die Verwendung der Halbach-Werte weit verbreitet.

In dieser Arbeit werden Angaben zu Herstellungsausgaben zentraler Komponenten (Kanal) aus dieser Quelle entnommen. Laufende Kosten des Kanalbetriebs werden unter Verwendung kapitalkostenbezogener Pauschalansätze beziffert, die allgemein übliche Planungssätze widerspiegeln, angegeben in Siedentop et al. (2006). Die Formulierung von Kostenkennwerten für die Bereitstellung und den Betrieb von Kleinkläranlagen erfolgt auf Grundlage vorliegender Auswertungen von Angebotsunterlagen verschiedener Anlagenanbieter, dokumentiert in Planungsbüro Abwasser TW (2002) und Ingenieurbüro Bokatec (2003). Die herangezogenen Quellen beziehen sich auf ähnliche Bezugszeitpunkte. Die hieraus entnommenen Angaben zu Kosten und Ausgaben sind somit vergleichbar. In der Kostenrechnung bleiben Preissteigerungen über den Betrachtungszeitraum unberücksichtigt. Zukünftige Investitionen, Betriebskosten und (vermiedene) Ersatzinvestitionen werden auf Grundlage der in den Quellen genannten bzw. implizit zugrunde liegenden Preise bewertet. Dem liegt die vereinfachte

chende Annahme zugrunde, dass sich Preissteigerungen in den betrachteten Kostenpositionen ähnlich verhalten. Zur Berechnung von Kapitalkosten sind Angaben zur Nutzungsdauer von Anlagen erforderlich. Diese werden aus Angaben der KVR Leitlinien (LAWA 2005) entnommen.

## **10.5.1 Kostenkennwerte - Transformationskosten**

### **10.5.1.1 Kapitalkosten und laufende Kosten dezentraler Anlagen**

Grundlage der Ermittlung der Kennwerte von Jahreskosten dezentraler Anlagen liefern, wie oben bereits angesprochen, vorliegende Kostenvergleichs-Gutachten (Ingenieurbüro Bokatec 2003, Planungsbüro Abwasser TW 2002). Diese nehmen jeweils Kosten-schätzungen für KKA auf Basis von Angebotspreisen unterschiedlicher Hersteller vor. Die in den Gutachten eingeholten Angebote<sup>84</sup> beziehen sich auf gestaffelte Ausbaugrößen mit einer Anschlussleistung zwischen 4 und 20 Einwohnern. Sie schließen unterschiedliche Anlagentypen mit ein<sup>85</sup>. In einer Querauswertung ermitteln die Bearbeiter der Gutachten mittlere Preise der Herstellung und des Betriebs der Anlagen in Abhängigkeit der Ausbaugröße. Die angegebenen Herstellungspreise stellen Komplett-preise dar. Sie umfassen Ausgaben für die Anlage, deren Montage sowie für die Tiefbauarbeiten.

Die Höhe der spezifischen Ausgaben für die Kleinkläranlagen wird in hohem Maße von deren Ausbaugröße bestimmt. Im Infrastrukturmodell werden drei Ausbaugrößenklassen unterschieden: Kleine Kleinkläranlagen mit einer Ausbaugröße von 5 Einwohnergleichwerten (KKA-Klein), Kleinkläranlagen mit einer Ausbaugröße von 15 Einwohnern (KKA-Mittel) und größere Anlagen mit einer Ausbaugröße von mehr als 15 Einwohnern (KKA-Groß). Hierfür werden Kostenkenngrößen mit Hilfe von Ausgabenfunktionen ermittelt, die aus den Angaben der oben genannten Gutachten mittels Regressionsanalysen gebildet wurden (s. Anlage 1). Im Infrastrukturmodell werden weiter zwei alternative technische Varianten der Abwassereinleitung betrachtet: Unterirdische Direkteinleitung über eine Drainage und eine indirekte Einleitung über ein entsprechendes Ablaufrohr (s. Abschnitt 7.3). Die spezifischen Kosten der Drainagesysteme werden von der erforderlichen Länge der Drainageleitung bestimmt. Diese wiederum hängt von der anfallenden Abwassermenge ab und damit von der Ausbaugröße der KKA. Hierfür werden entsprechend dem Vorgehen bei KKA Kostenkenngrößen aus ausbauabhängigen Kostenfunktionen bestimmt (Anlage 1). Die spezifischen Kosten der Direkteinleitung sind dagegen standortabhängig und werden von der relativen

---

<sup>84</sup> Dem Gutachten von Bokatec (2003) liegen 15 Angebote, dem Gutachten von Planungsbüro Abwasser TW (2002) 10 Angebote zugrunde.

<sup>85</sup> Berücksichtigt werden Tropfkörper-, Festbett-, SBR- und Wirbel-Schwebebettanlagen.

Lage von Gebäude und Einleitstelle bestimmt. Hierfür wird in den Gutachten ein Pauschalpreis angegeben, der als Kennwert übernommen wird.

Zur Bildung von Jahreskosten werden die so ermittelten Investitionsausgaben in Annuitäten umgerechnet. Die hierzu erforderlichen Annahmen zur Nutzungsdauer und zum Kalkulationszinssatz werden in Anlehnung an Angaben der KVR-Leitlinien getroffen. Ausgegangen wird von einer mittleren Lebensdauer der Kleinkläranlagen von 20 Jahren (LAWA 2005, Anlage 1-2). Der Referenzzinssatz wird in Anlehnung an LAWA (2005, 4-3)<sup>86</sup> mit 3 % angesetzt.

Kennzahlen für den Anlagenbetrieb sind ebenfalls den beiden zitierten Studien entnommen. Sie umfassen Kosten der Schlamm Entsorgung, Verschleiß-, Wartungs- sowie Energiekosten (s. Anlage 1). Mit Ausnahme der Schlamm Entsorgungskosten werden die Betriebskostenarten anlagenbezogen kalkuliert. Dabei wird unterstellt, dass die genannten Größen bei schwankender Auslastung wenig variieren. Die Schlamm Entsorgungskosten stehen in direktem Zusammenhang mit der Anzahl angeschlossener Einwohner. Deshalb wird diese Größe einwohnerbezogen ermittelt. Tabelle 10-1 fasst die verwendeten Kostenkennwerte der Kapitalkosten und laufenden Kosten der KKA zusammen.

*Tabelle 10-1: Kostenkennwerte „Kapitalkosten und laufende Kosten dezentraler Anlagen“ – eigene Berechnungen auf Grundlage von Angaben aus Planungsbüro Abwasser TW (2002) und Bokatec (2003)*

| Bereich  | Einheit | Jahreskosten |            |          |
|--|---------|--------------|------------|----------|
|  |         | Anlagentyp   |            |          |
|  |         | KKA-Klein    | KKA-Mittel | KKA-Groß |
| Kapitalkosten KKA *                            | €/a     | 495          | 657        | 844      |
| Kapitalkosten Direkteinleitung (Drainage)*     | €/a     | 139          | 295        | 581      |
| Kapitalkosten Indirekteinleitung (Ablaufrohr)* | €/a     | 54           | 54         | 54       |
| Betrieb (ohne Schlamm Entsorgung)              | €/a     | 405          | 539        | 843      |
| Schlamm Entsorgungskosten                      | €/EW*a  | 5,3          | 5,3        | 5,3      |

\* n=20, i=3 %

#### 10.5.1.2 Kosten für Stilllegung und Rückbau des Kanals und sonstige Anpassungen

Maßnahmen für die dauerhafte Stilllegung von Kanalabschnitten umfassen insbesondere die Trennung des betroffenen Abschnitts vom Netz, den Verschluss der Leitungsenden sowie den Verschluss oberflächennaher Komponenten wie z. B. Schachtdeckel. Ausgabengrößen hierzu können aus Siedentop et al. (2006, 149) entnommen werden.

<sup>86</sup> Die KVR-Leitlinie empfiehlt, für Kostenvergleichsbetrachtungen wasserwirtschaftlicher Projekte einen langfristigen Zinssatz in Höhe von 3 % anzunehmen. Im Rahmen von Empfindlichkeitsprüfungen sollte eine Bandbreite von 2 % bis höchstens 5 % verwendet werden (LAWA 2005, 4-3).

Dort werden für den Bereich Schmutzwasser pauschale Ausgaben in Höhe von 20 € je Meter stillgelegter Leitung genannt. Diese Angabe beruht nach Angaben der Autoren auf „detaillierte Einblicke in die Kostenstruktur“ real erfolgter Stilllegungen im Rahmen von Stadtumbaumaßnahmen.

Nach der hier zugrunde liegenden Begriffsverwendung handelt es sich dabei um eine Investitionsausgabe (s. Abschnitt 10.3.3). Sie wird zur Verwendung im Bewertungsmodell unter Zugrundelegung des Referenzzinssatzes<sup>86</sup> und der Berücksichtigung eines pauschal festgelegten Zeitraums in Jahreskosten umgerechnet. Der Zeitraum wird in Anlehnung an den der Kostenrechnung zugrunde liegenden Betrachtungshorizont (s. Abschnitt 11.1) auf 30 Jahre festgelegt.

Ob stillgelegte Leitungen rückzubauen sind, ist abhängig davon, unter welchen Flächen sich die Leitungen befinden und damit auch, welche vertraglichen Vereinbarungen getroffen sind (s. Thieme 2005). Bei Leitungen in privatem Raum bestehen i.d.R. privatrechtliche Verträge, wonach der Rückbau stillgelegter Leitung binnen einer Frist von 5 Jahren zu erfolgen hat. Im vorliegenden Beispielgebiet sind die Abwasserleitungen der öffentlichen Kanalisation größtenteils im öffentlichen Raum verlegt (s. Abschnitt 7.1.2.6). Hier bestehen in der Regel Konzessions- oder Gestattungsverträge<sup>87</sup> zwischen Ver- und Entsorgungsunternehmen und Straßenbaulastträger. Aufgrund weicher Formulierungen in den Gestattungsmusterverträgen (Rückbaupflicht nur dann, wenn technische Bedenken hinsichtlich des Verbleibs der Anlagen bestehen) sowie unzureichender Bestimmungen in Konzessionsverträgen ist der Rückbau von Leitungen im öffentlichen Raum die Ausnahme (Thieme 2005). Hiervon wird auch im vorliegenden Fall ausgegangen, sodass hierfür keine Kostenkenngrößen gebildet werden.

In den entworfenen Dezentalisierungspfaden sind nach den in Abschnitt 9.2 festgelegten Kriterien nur Abschnitte am Netzende von der Abkopplung betroffen. Anpassungen am Netz, die zum Beispiel bei einer Aufrechterhaltung der Durchleitung in integrierten Entsorgungseinheiten erforderlich werden können, treten hier nicht auf und bleiben deshalb unberücksichtigt. Somit wird nur ein Kostenkennwert für die Stilllegung von Kanalabschnitten aus den oben genannten Pauschal-Ausgaben je m Leitungslänge berechnet (Tabelle 10–2).

---

<sup>87</sup> Konzessionsverträge werden in der Regel bei Verlegung von Leitungen im Gemeindestraßenraum getroffen, Gestattungsverträge bei Trassenführung in klassifizierten Straßen (Kreis-, Landes-, oder Bundesstraßen) (s. Thieme 2005).

*Tabelle 10-2: Kostenkennwert „Stilllegungskosten“, eigene Berechnung auf Grundlage von Angaben zu Stilllegungs Ausgaben von Siedentop et al. 2006, 149 f.*

| Bereich                       | Einheit | Jahreskosten/m Kanallänge |
|-------------------------------|---------|---------------------------|
| Kanalstilllegung (i=3%, n=30) | €/a     | 1,0                       |

### 10.5.1.3 Unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten im verbleibenden Netz

Die Entstehung unterauslastungsbedingter Kanalbetriebskosten hängt vom Maß der Unterschreitung kritischer Auslastungsschwellenwerte und dem hieraus resultierenden Umfang zusätzlicher Maßnahmen zur ordnungsgemäßen Aufrechterhaltung des Betriebs ab. Kostenangaben hierzu sind in der Literatur kaum zu finden. Ein Ausnahme bildet wieder die Arbeit von Siedentop et al. (2005, 146 ff.). Hier werden „betriebsbedingte Mehrkosten bei Unterauslastung im Kanalbetrieb“ geschätzt (s. auch Abschnitt 10.5.2.3). Dabei wird jeweils die Gebietseinheit betrachtet, die vom Einwohnerrückgang direkt betroffen ist. Folgewirkungen in Einheiten, die in Fließrichtung des Abwassers nachfolgen, werden nicht betrachtet.

Im Sinne von Transformationskosten sind im Rahmen der hier aufzustellenden Bilanz nur solche unterauslastungsbedingten Kanalbetriebskosten relevant, die infolge der Abkopplung von Siedlungseinheiten im verbleibenden Netz auftreten. Die Abkopplung einzelner Entsorgungseinheiten in der Kleinteiligkeit, wie sie in diesem Modell hergestellt wird, wirkt sich nur gering auf die Anzahl insgesamt angeschlossener Einwohner aus. Den Ausführungen von Siedentop et al. (2006, 209 ff.) folgend ist zu vermuten, dass dies nur in geringem Maße zu zusätzlichen unterauslastungsbedingten Betriebskosten im Netzverlauf nachfolgender Einheiten führt. Um hier zu belastbaren Werten zu kommen, wäre jedoch eine hydraulische Berechnung des Netzes erforderlich. Hierauf wird aufgrund der vermuteten geringen Kosteneffekte verzichtet. Anstatt dessen werden mögliche Effekte dieses Einflusses im Rahmen einer ausgelagerten Modellbetrachtung diskutiert (s. Abschnitt 13.1.5).

## 10.5.2 Kostenkennwerte – Kostenentlastung

### 10.5.2.1 Laufende Kosten Kanal

Die Ermittlung laufender Kosten für den Kanalbetrieb kann bei überschlägiger Kostenermittlung pauschal mit Hilfe prozentualer Anteile an den jährlichen Kapitalkosten erfolgen (u. a. Wöbbeking 2002; Halbach 2003; Siedentop 2006, 145 ff.). Siedentop et al. (2006) geben hierfür die in Tabelle 10-3 genannten prozentualen Aufschläge an.



Tabelle 10-3: Pauschaler Anteil an den jährlichen Kapitalkosten zur Ermittlung der Kostenkennwerte für laufende Kanalkosten (Quelle: Siedentop et al. 2006, 145 ff.)

| Bereich        | Anteil an den jährlichen Kapitalkosten (%) |
|----------------|--|
| Instandhaltung | 10 %                                       |
| Betrieb        | 30 %                                       |
| Verwaltung     | 10 %                                       |

Durch Multiplikation dieser Anteile mit den in Abschnitt 10.5.2.2 aufgeführten Kanal-Kapitalkosten (Tabelle 10–5) errechnen sich die Kostenkennwerte der Betriebskosten (Tabelle 10–5, letzte Zeile).

10.5.2.2 Ersatzinvestition Kanal

Im Falle von Ersatzinvestitionen im Kanal werden Kanalabschnitte am Ende der Nutzungsdauer durch gleichwertige Bauteile ersetzt. Es werden Ausgaben fällig, die näherungsweise mit denen der Ersterstellung gleichgesetzt werden können. Kennwerte für Herstellungsausgaben für Kanäle können aus Halbach 2003, 16 ff. entnommen werden (Tabelle 10-4).

Tabelle 10-4: Herstellungsausgaben Kanal (Datengrundlage: Halbach 2003, 16 ff.)

| Bereich                | Herstellungsausgaben (€/m) |        |        |
|------------------------|----------------------------|--------|--------|
|                        | Nennweite (DN)             |        |        |
|                        | DN 200                     | DN 250 | DN 300 |
| Baukosten Kanal        | 250                        | 273    | 303    |
| Baukosten Schacht      | 25                         | 25     | 25     |
| Baukosten Kanal Gesamt | 275                        | 298    | 328    |

Folgende Referenzannahmen werden hierbei zugrunde gelegt (s. Abschnitt 7.1.2):

- Nenndurchmesser DN 250 (Bandbreite DN 200, DN 300),
- Verlegetiefe 2,5 m,
- durchschnittliche Bodenverhältnisse (Bodenklasse 3-5),
- 50 m Schachtabstand,
- Leitungsführung im Straßenraum.

Die Herstellungsausgaben werden unter Verwendung des Referenzzinssatzes von 3 % (s. Fußnote 86) und einer angenommenen Referenz-Kanallebensdauer von 50 Jahren (LAWA 2003, A1-1) in Jahreskosten umgerechnet. Hieraus errechnen sich die in Tabelle 10-5 angegebenen Kostenkennwerte.

*Tabelle 10-5: Kostenkennwerte Kanalkosten, eigene Berechnung auf Grundlage von Halbach 2003, 16 ff. (Herstellungsausgaben) und Siedentop et al. 2006, 145 ff. (laufende Kosten)*

| Bereich                                   | Jahreskosten (€/m) |        |        |
|---|--------------------|--------|--------|
|   | DN 200             | DN 250 | DN 300 |
| Kapitalkosten (Ersatzinvestitionen Kanal) | 10,7               | 11,6   | 12,8   |
| Laufende Kosten (s. Abschnitt 10.5.2.1)   | 5,4                | 5,8    | 6,4    |

### 10.5.2.3 Unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten in den von der Abkopplung betroffenen Einheiten

Zwar liegen, wie in Abschnitt 10.5.1.3 bereits angesprochen, erste Versuche vor, Kostenkennwerte zur Schätzung unterauslastungsbedingter Kanalbetriebskosten zu benennen, diese können sich aber nur auf eine begrenzte einzelfallbezogene Basis stützen. Um der Gefahr der Überbewertung dieses Effektes entgegenzutreten, wird im Referenzfall der Modellrechnung die konservative Annahme zugrunde gelegt, dass der Effekt unterauslastungsbedingter Kanalbetriebskosten in den von der Abkopplung betroffenen Einheiten vernachlässigbar ist. In der Empfindlichkeitsbetrachtung wird eine Einschätzung dieses Effektes unter Verwendung der in Siedentop et al. (2006, 147) genannten Kostenkennwerte vorgenommen.

In der genannten Quelle werden Kostenkennwerte in Form von Pauschalzuschlägen auf die jährlichen Betriebskosten angegeben, abhängig vom prozentualen Rückgang der Bevölkerungszahl in der betroffenen Gebietseinheit (s. Tabelle 10-6). Die Kennwerte berücksichtigen implizit für Ostdeutschland typische, in den vergangenen Jahren erfolgte, Auslastungsrückgänge, die aus Verhaltensänderungen, technischen Verbesserungen in haustechnischen Anlagen sowie erfolgter Entwicklungen bei Haushaltsgeräten resultieren (s. Abschnitt 4.1).

*Tabelle 10-6: Prozentuale Zuschläge auf die jährlichen Betriebskosten zur Schätzung von Kostenkennwerten für unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten (Quelle: Siedentop et al. 2006, 147)*

| Bevölkerungsrückgang | Prozentuale Zuschläge auf die jährlichen Betriebskosten |
|----------------------|---|
| 10 %                 | 4 %   |
| 20 %                 | 10 %  |
| 30 %                 | 20 %  |
| 40 %                 | 30 %  |
| 50 %                 | 35 %  |

10.6 Bewertungsdimensionen

10.6.1 Kostenentlastungspotenzial

Das hier entwickelte Bewertungsverfahren beruht auf einer Grenzkostenbetrachtung (s. Abschnitt 10.2.2). Ermittelt werden die Kosten, die durch den Umbau des vorhandenen Systems induziert werden (Transformationskosten). Diesen werden Kostenentlastungen gegenübergestellt, die durch den Umbau erreicht werden. Mit der Bilanzierung der in Abschnitt 10.4 genannten Transformationskosten und der Kostenentlastungen wird das zu erreichende Kostenentlastungspotenzial ermittelt. Auf der linken Seite der gebildeten Bilanz stehen die Transformationskosten, auf der rechten Seite die Kostenentlastungen. Ist die Summe der Kostenentlastungen größer als die Summe der Transformationskosten, entsteht ein Kostenentlastungspotenzial in Höhe der Differenz der beiden Summenpositionen. Sind die Verhältnisse umgekehrt, entstehen zusätzliche Kosten (Tabelle 10-7).

Tabelle 10-7: Bilanz von Transformationskosten und Kostenentlastungen zur Ermittlung des Kosteneinsparpotenzials

| Transformationskosten (TK)   | Kostenentlastung (KE)   |
|--|---|
| <div>- Kapitalkosten dezentrale Anlagen</div> <div>- Kapitalkosten aus Stilllegung und Rückbau Kanal</div> <div>- Betriebskosten dezentrale Anlage</div> <div>- Unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten im verbleibenden Netz</div> | <div>- Vermiedene Kapitalkosten aufgrund vermiedener Kanal-Ersatzinvestitionen</div> <div>- Vermiedene Kanalbetriebskosten</div> <div>- Vermiedene unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten in den von der Abkopplung betroffenen Einheiten</div> |
| Kostenentlastungspotenzial (bei TK < KE)   | Zusätzlich Kosten (bei TK > KE)   |

Die Simulation der Dezentralisierung erfolgt schrittweise. In jedem Schritt der Dezentralisierung entstehen Transformationskosten und Kostenentlastungen. Diese summieren sich über die in den Pfaden aufeinander folgenden Dezentralisierungsschritte auf. Das nach jedem Schritt resultierende Kostenentlastungspotenzial stellt somit eine Summengröße aus Transformationskosten und Kostenentlastungen des jeweiligen Dezentralisierungsschrittes sowie aller im Pfad vorangegangener Dezentralisierungsschritte dar (Formel 10-1).

Formel 10-1: Kostenentlastungspotenzial im Dezentralisierungsschritt n

$$KEP_n = \left( \sum_{i=1}^n KE_i - \sum_{i=1}^n TK_i \right)$$

KEP: Kostenentlastungspotenzial  
KE: Kostenentlastung  
TK: Transformationskosten  
i = 1...n: Dezentralisierungsschritte

In Abschnitt 10.1.1 sind mögliche Suchrichtungen der Kostenrechnung präzisiert. Zwei Grenzbetrachtungen sind dort benannt: Die Suche nach der höchsten Dezentralisierungstiefe mit Kostenvorteilen gegenüber dem Systemerhalt sowie die Suche nach der höchsten durch Dezentralisierung erzielbaren Kostenentlastung gegenüber dem Systemerhalt. Diese Grenzbetrachtungen können unter Anwendung der Formel 10-1 und Benennung entsprechender Nebenbedingungen in nachfolgend beschriebene Bewertungsdimensionen überführt werden.

### 10.6.2 Maximaler Dezentralisierungsgrad mit positivem Kostenentlastungspotenzial

Die höchste Dezentralisierungstiefe mit Kostenvorteilen gegenüber dem Systemerhalt ist bei maximalem Grad der Dezentralisierung (maximaler Dezentralisierungsgrad) erreicht, unter der Bedingung, dass das nach Formel 10-1 berechnete Kostenentlastungspotenzial in diesem Zustand größer „0“ ist (positives Kostenentlastungspotenzial). Mit dem Dezentralisierungsgrad (DG) wird beschrieben, wie viele der Einheiten vom zentralen Netz abgekoppelt sind, gemessen an den im Ausgangszustand angeschlossenen Einheiten. Der Dezentralisierungsgrad ist gleich 0, wenn alle Einheiten angeschlossen sind. Mit jeder Einheit, die abgekoppelt und dezentral entsorgt wird, steigt der Dezentralisierungsgrad an. Sind alle Einheiten abgekoppelt, nimmt der Dezentralisierungsgrad den Wert eins an.

Zur Bildung des Dezentralisierungsgrades können unterschiedliche Bezugsgrößen herangezogen werden. Denkbar ist der Bezug auf die Einwohner (Formel 10-2) sowie auf die Entsorgungsgebietsfläche (Formel 10-3).

*Formel 10-2: Dezentralisierungsgrad, bezogen auf die Einwohner im Entsorgungsgebiet*

$$DG_{(EW)} = EW_{dez} / EW_{ges}$$

$DG_{(EW)}$ : Einwohnerbezogener Dezentralisierungsgrad  
 $EW_{dez}$ : Abgekoppelte bzw. dezentralisierte Einwohner  
 $EW_{ges}$ : Einwohner gesamt (die im Ausgangszustand an das zentrale System angeschlossen sind)

*Formel 10-3: Dezentralisierungsgrad, bezogen auf die Fläche des Entsorgungsgebietes*

$$DG_{(FL)} = FL_{dez} / FL_{ges}$$

$DG_{(FL)}$ : Flächenbezogener Dezentralisierungsgrad  
 $FL_{dez}$ : Abgekoppelte bzw. dezentralisierte Entsorgungsgebietsfläche  
 $FL_{ges}$ : Entsorgungsgebietsfläche gesamt (die im Ausgangszustand im Einzugsbereich der Kanäle liegt)

Der maximale Dezentalisierungsgrad mit positivem Kostenentlastungspotenzial, kurz maximaler Dezentalisierungsgrad, ist erreicht, wenn beide nachfolgend genannten Bedingungen zutreffen (Formel 10-4). Das Kostenentlastungspotenzial (KEP) nach Formel 10-1 muss im betrachteten Zentralisierungsschritt  $i$  größer oder gleich Null sein. Alle nachfolgenden Dezentalisierungsschritte führen zu einem negativen Kostenentlastungspotenzial.

*Formel 10-4: Bedingungen für das Erreichen des maximalen Dezentalisierungsgrades mit positivem Kostenentlastungspotenzial*

$$\text{KEP}_i \geq 0$$

$$\text{KEP}_{i \dots n} < 0$$

### 10.6.3 Maximales Kostenentlastungspotenzial

Die höchste gegenüber dem Systemerhalt erzielbare Kostenentlastung, die in den entworfenen Dezentalisierungspfaden erreicht wird, kann mit der Formel 10-5 berechnet werden. Dies wird als maximales Kostenentlastungspotenzial bezeichnet ( $\text{KEP}_{\max}$ ).

*Formel 10-5: Maximales Kostenentlastungspotenzial*

$$\text{KEP}_{\max} = \text{Max} \left( \sum_{i=1}^n \text{KE}_i - \sum_{i=1}^n \text{TK}_i \right)$$

## **C Modellrechnungen**

### **11 Zukunftsprojektion Siedlungsmodell**

Durch Anwendung der in Teil B dieser Arbeit entwickelten Module werden in den nachfolgenden Kapiteln Kostenwirkungen möglicher Anpassungsstrategien für ein reales, von Schrumpfung betroffenes Entsorgungsgebiet berechnet.

In Kapitel 6 wurden die Grundlagen gelegt, die Nachfragesituation in der erforderlichen kleinräumigen Ausprägung zu beschreiben. Bei der Bewertung zukünftiger Anpassungsoptionen sind Veränderungen der Nachfrage nach Entsorgungsleistungen gegenüber dem Ausgangszustand über einen angemessenen Zeitraum zu berücksichtigen. Dazu werden Aussagen zur zukünftigen Bevölkerungsentwicklung sowie zur Bautätigkeit im Untersuchungsgebiet getroffen und auf die Nachfrageparameter des Siedlungsmodells übertragen.

#### **11.1 Betrachtungshorizont**

Nach LAWA (2005, 4-2) leitet sich der zugrunde zu legende Betrachtungszeitraum aus der Dauer der Investitions- und Betriebsphase betrachteter Alternativen ab. Die Betriebsphase wird demnach durch die wirtschaftliche Lebensdauer der Anlagen begrenzt. So werden beispielsweise für Betrachtungen der „Maßnahmenart“ Abwasserableitung Betrachtungszeiträume von 50 bis 60 Jahren, bei Maßnahmen der zentralen Abwasserbehandlung 30 Jahre empfohlen.

Im vorliegenden Fall wird die Anpassung eines vorhandenen technischen Systems mit heterogener Baualtersstruktur betrachtet. Somit existiert kein notwendiger Start und Endzeitpunkt der „Umbau-Investition“, womit der Betrachtungshorizont festgelegt wäre. Diese Festlegung erfolgt deshalb nach pragmatischen Erwägungen unter Beachtung der Nutzungsdauer des konstituierenden Bauwerks des zentralen Systems. Dies ist die zentrale Behandlungsanlage. Nach LAWA (2005, 4-2) wird für zentrale Behandlungsanlagen eine mittlere Nutzungsdauer von 30 Jahren angenommen. Dieser Zeitraum von 30 Jahren wird den Betrachtungen als Zeithorizont zugrunde gelegt. Startjahr ist aus Gründen der Datenverfügbarkeit das Jahr 2005. Der Zeitpunkt des Startjahres wird mit  $T_0$ , der Betrachtungshorizont mit  $T_{30}$  bezeichnet.

#### **11.2 Bevölkerungsentwicklung**

Die Veränderung der Bevölkerungszahl im Betrachtungszeitraum wird in Anlehnung an vorliegende amtliche Bevölkerungsvorausberechnungen angenommen. Vorausberechnungen liegen mit der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung des Statistischen Bundesamtes auf Landesebene bis 2050 und hierauf aufbauend mit der 4. regionalisierten Bevölkerungsprognose des Freistaates Sachsen auf der Ebene von Kreisen und Städten mit mehr als 5.000 Einwohnern bis zum Jahr 2020 vor (Statisti-

sches Bundesamt 2007, Statistisches Landesamt für den Freistaat Sachsen (ohne Jahresangabe). Ausgehend hiervon wird eine Referenzentwicklung für das Untersuchungsgebiet im betrachteten Zeitraum festgelegt. Diese Dynamik wird im Referenzfall ohne weitere räumliche Differenzierung auf die gebildeten Entsorgungseinheiten übertragen.

Diese Vorausschau ist mit Unsicherheiten belastet. Es werden Aussagen getroffen, die über den zeitlichen Horizont der vorliegenden Landesprognose hinausgehen. Weiter sind die Raumeinheiten, die von der Landesprognose angesprochen werden, nicht deckungsgleich mit der Abgrenzung des hier betrachteten Untersuchungsraumes. Die Erarbeitung eigener regionalisierter Prognosen für den Untersuchungsraum wäre jedoch aufwendig und wenig zielführend, da die Entwicklung kleinräumiger Wanderungsbewegungen nur schwer eingeschätzt werden kann. Dies betrifft interregionale Wanderungssalden, zunehmend aber auch intraregionale Wanderungsbewegungen. So befinden sich derzeit viele Regionen in einer Umbruchsituation zwischen Re- und Suburbanisierung. Welcher Trend sich zukünftig durchsetzen wird, ist weitestgehend offen (s. Abschnitt 1.1.1).

Um diese Aspekte im Bewertungsverfahren mit vertretbarem Aufwand zu berücksichtigen, werden nach einem einfachen Schema vorgenommene Variationen der Bevölkerungsdynamik im Rahmen der Sensitivitätsbetrachtungen aufgegriffen (s. Abschnitt 12.2). Dazu wird erstens die Gesamtdynamik in einem festgelegten Korridor variiert (s. Abschnitt 11.2.1). Zweitens werden in Anlehnung an die Pole der aktuellen Re- und Suburbanisierungsdebatte vereinfachte Annahmen zur räumlichen Ausdifferenzierung der Entwicklungsdynamik innerhalb des Untersuchungsgebietes getroffen (s. Abschnitt 11.2.2).

### 11.2.1 Gesamtentwicklung im Untersuchungsgebiet

Die 4. regionalisierte Bevölkerungsprognose Sachsens unterscheidet mehrere Varianten der Bevölkerungsentwicklung, die Grenzen eines denkbaren Entwicklungskorridors darstellen. Der Variante 1 liegen landeseigene Annahmen zur Lebenserwartung und zum Wanderungsaustausch mit dem Bundesgebiet zugrunde, in Variante 3 sind Annahmen aus der Variante 1-W1 der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung<sup>88</sup> übernommen worden (Statistisches Landesamt für den Freistaat Sachsen, ohne Jahresangabe).

---

<sup>88</sup> Variante 1-W1 der 11. Koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung entspricht der pessimistischen Variante der Wanderungsannahmen (+100.000/a), geht aber von einer konstanten Reproduktionsrate (1,4) aus. Damit finden sich die Einwohnersalden dieser Variante am unteren Rand eines aufgezeigten Korridors, markieren aber noch nicht die Außenlinie. Diese wird mit der Variante 5-W2 gesetzt (Statistisches Bundesamt 2006a, 30).

Nach der Variante 1-W1 der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung verliert Sachsen ab 2005 bis 2020 9 %, bis 2030 16 % und bis 2050 29 % seiner Einwohner. Die Entwicklung verläuft über den gesamten Zeitraum 2005 und 2050 nahezu linear (Statistisches Bundesamt 2006a). In der 4. regionalisierten Bevölkerungsprognose wird diese Entwicklung aufgegriffen mit weiteren Varianten ergänzt, um Aussagen auf Kreisebene und der Ebene von Städten bis 5.000 Einwohnern bis zum Jahre 2020 zu treffen. Für den ehem. Landkreis Kamenz, innerhalb dessen sich das Untersuchungsgebiet befindet, werden zwischen 2005 und 2020 Bevölkerungsverluste im Korridor von 6 % bis 10 % angegeben. Im selben Bereich liegen die für die Stadt Kamenz angegebenen Werte (Statistisches Landesamt für den Freistaat Sachsen, ohne Jahresangabe). Wird diese Entwicklung pauschal weitere 15 Jahre linear fortgeschrieben, errechnet sich ein Bevölkerungsverlust in Höhe von 12 % bis 20 % für einen Zeitraum von 30 Jahren.

Für die Modellrechnung wird die höhere Dynamik herangezogen<sup>89</sup>. Diese wird zunächst ohne weitere Differenzierung für das gesamte Untersuchungsgebiet angenommen. Im Rahmen der Empfindlichkeitsbetrachtungen wird eine Variation der Dynamik um +/-10 Prozentpunkte vorgenommen (s. Abschnitt 12.2). Dadurch werden Wirkungen einer denkbaren Stabilisierung sowie einer Verschärfung des Bevölkerungsrückganges mit reflektiert. Tabelle 11-1 fasst die Modellannahmen zur Bevölkerungsdynamik im Untersuchungsgebiet innerhalb des Betrachtungszeitraumes zusammen.

*Tabelle 11-1: Modellannahmen zur Bevölkerungsveränderung im Untersuchungsgebiet*

| Zeitraum                        | Modellannahme | Hintergrund   |
|---------------------------------|---------------|---|
| Zwischenwert (T <sub>15</sub> ) | -10 %         | Variante 3 der 4. regionalisierten Bevölkerungsprognose Sachsens für den ehem. Landkreis Kamenz sowie Variante 1-W1 der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. |
| Referenzwert (T <sub>30</sub> ) | -20 %         | Trendverlauf der Variante 1-W1 der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung für das Land Sachsen.   |
| Varianten (T <sub>30</sub> )    | -10 %/-30 %   | Instruktive Varianten zur Berücksichtigung einer Entwicklung der zunehmenden Stabilisierung und der weiteren Verschärfung der Schrumpfdynamik.                          |

### 11.2.2 Räumliche Ausdifferenzierung der Entwicklungsdynamik innerhalb des Entsorgungsgebietes

Zur Berücksichtigung unterschiedlicher intraregionaler Entwicklungstrends werden in Anlehnung an die aktuell laufende Diskussion hinsichtlich möglicher Perspektiven zu-

<sup>89</sup> Damit lehnt sich die Annahme zur Bevölkerungsdynamik an die höhere negative Dynamik der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung an (Variante 1-W1). Dies hat einen methodischen Hintergrund. Einerseits liegt der Wert innerhalb des Korridors der amtlichen Vorausberechnungen und ist damit realistisch vorstellbar. Andererseits werden aus der Orientierung an der hohen Dynamik höher ausgeprägte Kostenvorteile dezentraler Alternativen erwartet. Die Kostenwirkungen, nach denen hier gesucht wird, lassen sich dadurch deutlicher aufzeigen.



künftiger intraregionaler Wanderungsprozesse (s. Abschnitt 1.1.1) folgende drei Bilder unterschieden:

- Ubiquitär: Gleiche Dynamik in allen Teilgebieten; dies entspricht der Referenzvariante.
- Suburbanisierung: Schrumpfung findet verstärkt in zentralen Siedlungskernen, abgeschwächt in Ortslagen des Umlandes statt.
- Reurbanisierung: Schrumpfung findet verstärkt in Ortslagen des Umlandes der Siedlungskerne, abgeschwächt in den Siedlungskernen selbst statt.

Zur Ausdifferenzierung der Entwicklungen im Sub- und Reurbanisierungsfall erfolgt zunächst eine Unterscheidung von städtisch geprägten Siedlungskernen und ländlich geprägten Ortslagen im Umland. Den Siedlungskernen werden zusammenhängende Siedlungsgebiete mit „städtischem Charakter“ zugeordnet, festgemacht an der augenscheinlich zu erkennenden kompakteren Struktur und dem signifikanten Auftreten städtischer Mehrfamilienhaus-Gebäudetypen. Die überwiegend ländlich geprägten Ortslagen bilden zusammen die Kategorie „Ortslagen des Umlandes der Siedlungskerne“. Die vorgenommene Unterscheidung der in Abbildung 11-1 dargestellten Raumkategorien erfolgt abweichend von den administrativen Gemeindegrenzen nach dem siedlungsstrukturellen Erscheinungsbild.

Die Annahmen zur intraregionalen Ausdifferenzierung der Entwicklungsdynamik basieren auf plausiblen, kontrastierenden und in sich konsistenten Entwicklungsbildern. Das entworfene Suburbanisierungsbild orientiert sich dabei an der beobachteten Dynamik im Untersuchungsgebiet der zurückliegenden Jahre, wo in den Gemeinden, innerhalb derer sich die Siedlungskerne befinden, deutlich höhere Bevölkerungsverluste zu verzeichnen waren als in den Umlandgemeinden (s. Abschnitt 5.2). Das Reurbanisierungsbild wird diesem als Kontrast gegenübergestellt (s. Tabelle 11-2).

Tabelle 11-2: Modellannahmen zur intraregionalen Ausdifferenzierung der Bevölkerungsdynamik

| Gebietstypen           | Bevölkerungsverlust von T0 bis T30 |                  |                 |
|------------------------|------------------------------------|------------------|-----------------|
|                        | Ubiquitär                          | Suburbanisierung | Reurbanisierung |
| Siedlungskern          | 20 %                               | 25 %             | 18 %            |
| Ortslagen des Umlandes | 20 %                               | 0 %              | 30 %            |
| Gesamtgebiet           | 20 %                               | 20 %             | 20 %            |

Bezogen auf die Entwicklungsdynamik im Gesamtuntersuchungsgebiet unterscheiden sich die Suburbanisierungs- und Reurbanisierungsbilder nicht. Beiden liegt die Referenzannahme eines Bevölkerungsverlustes in Höhe von 20 % in 30 Jahren zugrunde.

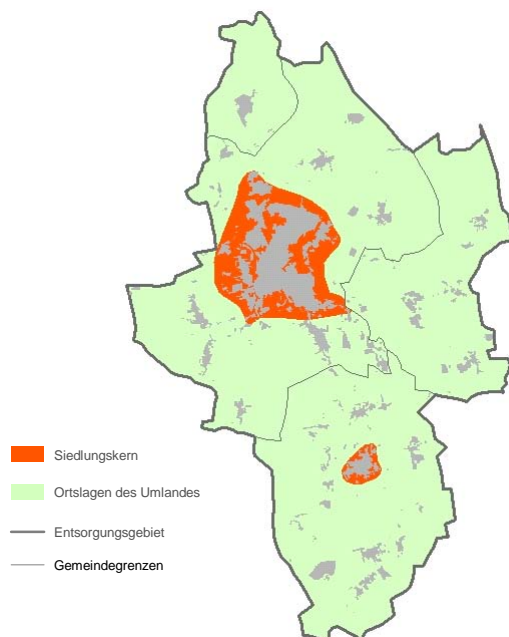


Abbildung 11-1: Gebietstypen zur intraregionalen Ausdifferenzierung der Bevölkerungsdynamik

## 11.3 Siedlungsentwicklung

In den hier vorgenommenen Untersuchungen steht die angebotsseitige Anpassung der Abwasserinfrastruktur an veränderte Nachfragebedingungen im Fokus. Möglichkeiten der siedlungspolitischen Einflussnahme treten dagegen in den Hintergrund (s. Abschnitt 1.1.3). Die Einflussgröße „Siedlungsentwicklung“ stellt damit eine passive Modellgröße dar. Soweit im Betrachtungszeitraum Veränderungen mit bedeutendem Einfluss auf die relevanten Kostenwirkungen der Dezentralisierung innerhalb der bestehenden Siedlungsgebiete zu erwarten sind, sollten diese im Annahmengerüst jedoch angemessene Berücksichtigung erfahren. Dies kann der Fall sein, wenn innerhalb der Bestandsgebiete neue Gebäude hinzukommen oder bestehende durch Abriss wegfallen. Dadurch verändert sich der Erschließungsaufwand zentraler und dezentraler Systeme im Betrachtungsgebiet.

### 11.3.1 Neubau

In den zurückliegenden Jahren bewegte sich die Neubautätigkeit im Wohnungsbestand des Untersuchungsgebietes auf niedrigem Niveau. Zwischen den Jahren 2000 und 2005 lag die Jahres-Neubauquote bei Gebäuden mit einer und zwei Wohnungen in den betroffenen Gemeinden jeweils unter 1 % (0,7 %/a), bezogen auf den entsprechenden Wohnungsbestand. Im Mehrfamilienhausbereich lag die Neubauquote im Hauptort unter 0,1 %, in den Umlandgemeinden war die Bautätigkeit in diesem Seg-

ment vernachlässigbar (Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2007). Angesichts der sich abzeichnenden demografischen Dynamik werden im Betrachtungsgebiet auch in den kommenden Jahren wenig Impulse erwartet, welche die aktuelle Bautätigkeit maßgeblich verändern. Hinweise auf räumlich konzentrierten Umbau der hochbaulichen Struktur innerhalb des Untersuchungsgebietes liegen nicht vor.

Die Neubautätigkeit wird deshalb in Anlehnung an die jüngste Entwicklung unter Zugrundelegung eines einfachen Annahmengerüsts berücksichtigt. Eine Variation der Intensität und räumlichen Verteilung des Neubaus unterbleibt. Bei Ein- und Zweifamilienhäusern wird eine Neubaurate von 0,5 %/a zugrunde gelegt. Hierbei wird angenommen, dass die Hälfte davon auf Ersatzneubau oder auf Neubau außerhalb der betrachteten Entsorgungseinheiten entfällt (z. B. „Grüne Wiese“-Entwicklung). Innerhalb der betrachteten Entsorgungseinheiten ergibt sich hieraus eine Netto-Neubaurate von 0,25 %/a (zusätzlich gebaute Ein- und Zweifamilienhäuser). Hinsichtlich der räumlichen Verteilung des Neubaus wird eine disperse Verteilung angenommen.

Im Modell wird dies umgesetzt, indem die festgelegte Neubauquote auf die abgegrenzten und typisierten Gebäudegrundflächen angewendet wird. Dabei wird die Wohnungsgrundflächendichte der Flächen, die als Ein- und Zweifamilienhaustypen beschrieben sind (G3-Gebäudetypen, s. Tabelle 6-1), um den Faktor 0,25 % erhöht. Für den Mehrfamilienhausbereich wird unterstellt, dass sich die geringen baulichen Aktivitäten auf den Ersatzneubau konzentrieren. Dies entfaltet keine Wirkung auf das Mengengerüst, da der Bedarf an Erschließungsanlagen dadurch unverändert bleibt. Die Netto-Neubaurate wird für Mehrfamilienhäuser auf Null gesetzt (Tabelle 11-3).

Tabelle 11-3: Modellannahmen zur Neubautätigkeit im Betrachtungszeitraum

| Modellannahmen zur Nettobautätigkeit (zusätzliche Wohnungen pro Jahr, bezogen auf den Siedlungsbestand) |        |
|---|--------|
| Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern   | 0,25 % |
| Wohnungen in Mehrfamilienhäusern  | 0 %    |

11.3.2 Rückbau

Im verwendeten Modellansatz entfalten leer stehende Gebäude dieselbe Wirkung auf den Erschließungsbedarf dezentraler Anlagen wie rückgebaute Gebäude. In beiden Fällen entfällt im Falle der dezentralen Entsorgung der EE der Aufwand für die Bereitstellung einer dezentralen Anlage für die betreffenden Gebäude (s. Abschnitt 6.3.3). Deshalb ist die Unterscheidung von leer stehenden und abgerissenen Gebäuden für die Modellrechnung nicht erforderlich.

Die Berücksichtigung der Einflussgröße Gebäudeleerstand ist im Verfahren bereits installiert (s. Abschnitt 6.3.3). Veränderungen dieser Größe resultieren aus den modellierten Bevölkerungsveränderungen (s. Abschnitt 11.2) sowie den angenommenen Netto-Neubauquoten (s. Abschnitt 11.3.1), die wiederum Einfluss auf die Bevölke-

rungsverteilung im Bestand haben. Die zusätzliche Berücksichtigung der Einflussgröße Rückbau ist dann erforderlich, wenn sich hieraus Hinweise ergeben, entlang derer eine Konkretisierung der Annahmen zum Gebäudeleerstand in der getroffenen Höhe oder räumlichen Verteilung möglich ist. Dies ist z. B. der Fall, wenn konkrete Hinweise auf gesteuerte Abriss- und Umbauvorhaben vorliegen. Dies trifft für das Betrachtungsgebiet nicht zu. Aus diesem Grunde werden keine Annahmen zum Rückbau getroffen.



## 12 Kostenrechnung

Nachfolgend werden unter Anwendung des Kostenmodells Kostenwirkungen der entworfenen Dezentralisierungspfade berechnet. In Abschnitt 12.1 werden der maximale Dezentralisierungsgrad mit positivem Kostenentlastungspotenzial (maximaler Dezentralisierungsgrad) (s. Abschnitt 10.6.2) sowie das maximale Kostenentlastungspotenzial (s. Abschnitt 10.6.3) der betrachteten Dezentralisierungspfade ermittelt. Im zweiten Schritt werden Empfindlichkeitsrechnungen durchgeführt. Dabei werden einzelne Kosteneinflussparameter unter *Ceteris paribus* Annahmen innerhalb definierter Wertebereiche variiert und hieraus resultierende Veränderungen des maximalen Dezentralisierungsgrades und des maximalen Kostenentlastungspotenzials aufgezeigt (Abschnitt 12.2). Im dritten Schritt werden zwei kontrastierende Annahmengerüste formuliert, die Verstärkungs- und Kompensationseffekte der in Betracht gezogenen Parameter jeweils bündeln, um hieraus theoretische Extremausprägungen der Kostenwirkungen zu berechnen (Abschnitt 12.3).

### 12.1 Kosten alternativer Pfadausrichtungen

Abbildung 12-1 zeigt am Beispiel eines Ausschnitts des Pfades „Kanalaufwand“ die Transformationskosten und Kostenentlastungen, die je Dezentralisierungsschritt unter Referenzbedingungen entstehen. Die Transformationskosten ergeben sich entsprechend der in den Abschnitten 10.4 ff. getroffenen Festlegungen aus den Kapitalkosten sowie den laufenden Kosten der zu errichtenden Kleinkläranlagen, zuzüglich der Stilllegungskosten des anliegenden Kanalnetzes. Die Kostenentlastungen berechnen sich aus der Summe der vermiedenen Ersatzinvestitionen und der vermiedenen laufenden Kosten des stillgelegten Kanalnetzes.

Treten in einzelnen Abkopplungsschritten nur Stilllegungskosten als Transformationskosten auf, handelt es sich um Entsorgungseinheiten des Typs „äußere Erschließung“ (s. Abschnitt 8.4). In diesen EE liegen keine Gebäude an, die abgekoppelt und dezentral zu entsorgen sind. Es besteht damit auch kein Bedarf an Kleinkläranlagen (dies betrifft beispielsweise die Schritte 6, 14, 23 und 36)<sup>90</sup>. In Entsorgungseinheiten, innerhalb derer bewohnte Gebäude oder gewerbliche Nutzeinheiten anliegen, entstehen entsprechend des Bedarfs an KKA Transformationskosten in Form von Kapitalkosten und laufenden Kosten. Bei Abkopplung von Entsorgungseinheiten entfallen laufende Kosten des Kanalbetriebs in den betroffenen Einheiten. Ist das Kanalnetz in Dezentralisierungsgebieten am Ende der Nutzungsdauer angelangt, werden zusätzlich vermiedene Ersatzinvestitionen in der Kostenbilanz wirksam. In diesem Falle dominiert diese Kostenart die Gesamtkostenentlastung der entsprechenden EE.

---

<sup>90</sup> Aufgrund z. T. geringer Kanallängen in einzelnen Entsorgungseinheiten können die Ausprägungen der Stilllegungskosten Werte unterschreiten, die aufgrund der gewählten Skalierung keine Darstellung in Abbildung 12-1 erlaubt.

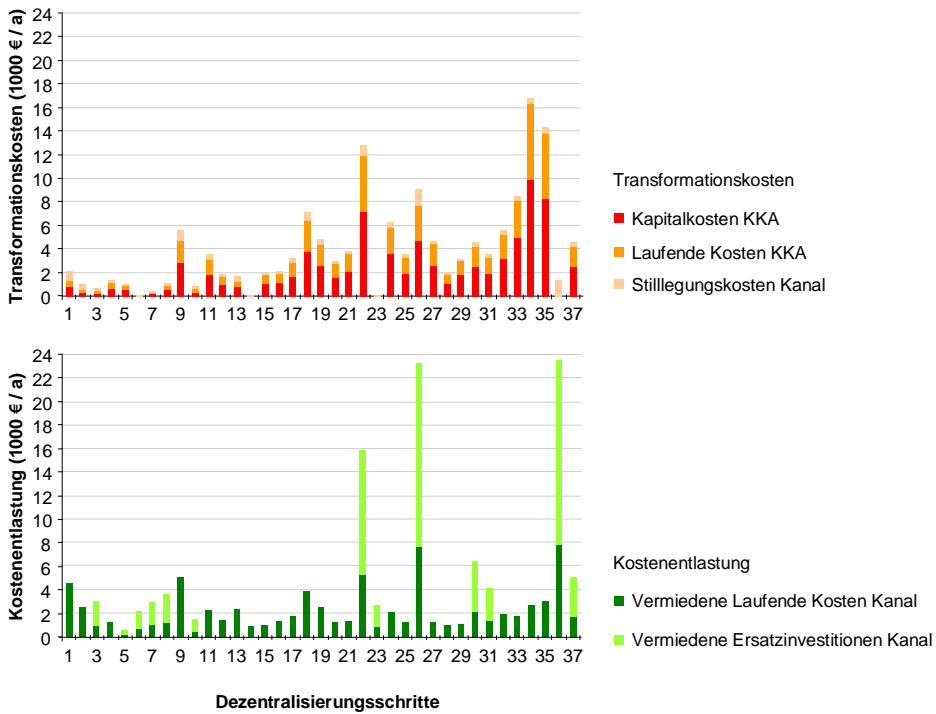


Abbildung 12-1: Transformationskosten und Kostenentlastungen nach Kostenarten je Dezentralisierungsschritt am Beispiel eines Ausschnitts des Dezentralisierungspfades „Kanalaufwand“

Die Transformationskosten und Kostenentlastungen werden im angewendeten Verfahren über die Dezentralisierungsschritte aufsummiert. In Abbildung 12-2 sind die kumulierten Transformationskosten und Kostenentlastungen des dargestellten Abschnitts des Pfades Kanalaufwand aufgetragen. Bis zu Schritt 33 überragen die Kostenentlastungen die Transformationskosten. In den nachfolgenden Schritten liegen die Transformationskosten über den Kostenentlastungen.

Bei der Bilanzierung von Transformationskosten und Kostenentlastungen gehen die Transformationskosten mit negativem Vorzeichen, die Kostenentlastungen mit positivem Vorzeichen in die Berechnung ein. Dies ist für den betrachteten Pfadabschnitt in Abbildung 12-3 in Bezug auf den flächen- sowie den einwohnerbezogenen Dezentralisierungsgrad aufgetragen.

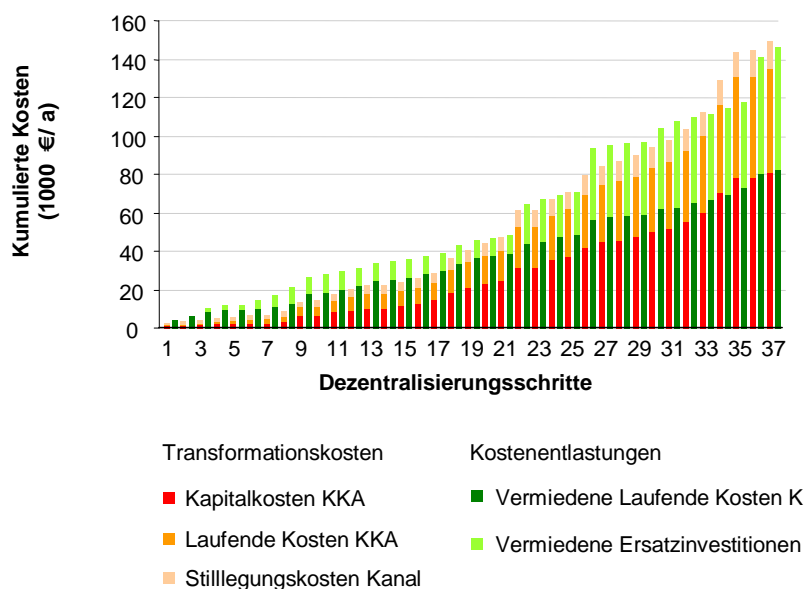


Abbildung 12-2: Kumulierte Transformationskosten und kumulierte Kostenentlastungen eines Ausschnitts des Dezentralisierungspfad „Kanalaufwand“

Die Kurven der Kostenbilanz verlaufen im positiven Bereich oberhalb der Nulllinie, solange die Summe der Kostenentlastungen größer ist als die Summe der Transformationskosten. Die Kurven überschreiten die Nulllinie in den negativen Bereich, wenn sich dieses Verhältnis dreht. Im Pfad „Kanalaufwand“ ist dies im Übergang von Schritt 32 zu Schritt 33 der Fall (s. auch Abbildung 12–2). Der maximale Dezentralisierungsgrad wird demnach in Schritt 32 erreicht. Dieser liegt bei 0,080, bezogen auf die im Ausgangszustand angeschlossene Entsorgungsgebietsfläche ( $DG_{\max(FL)}$ ). Bezogen auf die im Ausgangszustand angeschlossenen Einwohnergleichwerte beträgt der maximale Dezentralisierungsgrad 0,018 ( $DG_{\max(EW)}$ ). Es können also bis zu 8% der Entsorgungsflächen des Gesamtentsorgungsgebietes dezentralisiert werden, ohne dass es zu einem Kostenanstieg gegenüber dem Ausgangszustand kommt. Dabei handelt es sich um Flächen mit vergleichsweise geringer Nutzungsdichte, denn nur knapp 2 % der EWGW befinden sich auf diesen Flächen.

Die maximale Kosteneinsparung ( $KEP_{\max}$ ) wird in Schritt 27 erreicht. Sie liegt im betrachteten Pfad bei 13.986 Euro/Jahr. In Schritt 27 liegt der flächenbezogene Dezentralisierungsgrad bei 0,068, der einwohnerbezogene Dezentralisierungsgrad bei 0,014. Die maximale Kosteneinsparung wird in diesem Pfad demnach erreicht, wenn knapp 7 % der Flächen mit 1,4 % der Einwohnerwerte abgekoppelt sind.



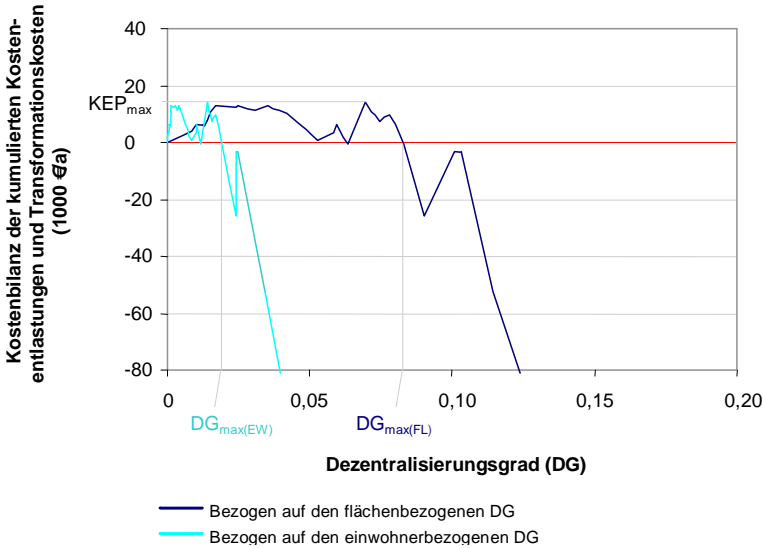


Abbildung 12-3: Kostenbilanzverlauf aus kumulierten Kostenentlastungen minus kumulierten Transformationskosten eines Abschnitts des Dezentralisierungspfades „Kanalaufwand“, bezogen auf den flächenbezogenen DG sowie den einwohnerbezogenen DG

Abbildung 12-4 zeigt die Kurvenverläufe der Kostenbilanz aus kumulierten Kostenentlastungen und kumulierten Transformationskosten der drei unterschiedenen Dezentralisierungspfade „lokales Kostenentlastungspotenzial“ (LEP), „Kanalaufwand“ (KA) und „Baualter“ (BA), jeweils bezogen auf den flächenbezogenen Dezentralisierungsgrad.

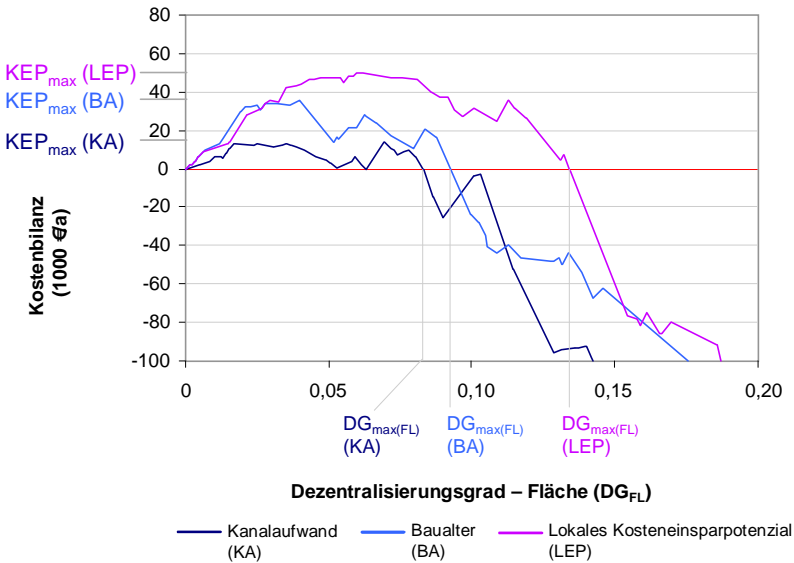


Abbildung 12-4: Kostenbilanzverlauf der Dezentralisierungspfade „Kanalaufwand“, „Baualter“ und „Lokales Kosteneinsparpotenzial“ bezogen auf den Dezentralisierungsgrad (Fläche)

Die Ausprägungen der Bewertungskenngrößen sind in Tabelle 12-1 zusammengefasst. Weiter ist die Anzahl der Dezentralisierungsschritte mit aufgeführt, die bis zum Erreichen des aufgezeigten maximalen Dezentralisierungsgrades bzw. des maximalen Kosteneinsparpotenzials jeweils durchlaufen werden. Hierin spiegelt sich die gebildete Rangfolge der Pfade, die sich aus dem Vergleich der Kenngrößen ergibt, nicht wider. So wird beispielsweise im Pfad Baualter mit 30 Dezentralisierungsschritten ein höherer Dezentralisierungsgrad erreicht als im Pfad Kanalaufwand mit 32 Schritten. Ursache hierfür ist, dass die Dezentralisierungspfade unterschiedlichen räumlichen Abläufen folgen. Bis zum Erreichen des maximalen Dezentralisierungsgrades werden jeweils unterschiedliche EE abgekoppelt, die sich in ihren Flächenausdehnungen unterscheiden (s. hierzu Fußnote 73). So werden im Pfad Baualter im Mittel größere Einheiten abgekoppelt als im Pfad Kanalaufwand. Die Anzahl der Dezentralisierungsschritte ist damit als Bewertungsgröße wenig aussagekräftig.

*Tabelle 12-1: Vergleich der Ausprägungen der Kenngrößen des maximalen Dezentralisierungsgrades und des maximalen Kosteneinsparpotenzials der drei alternativen Dezentralisierungspfade (Referenzfall)*

| Pfadausrichtung                | Maximaler Dezentralisierungsgrad |                                      |           | Maximales Kosteneinsparpotenzial |                                 |                        |           |
|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------|----------------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------|
|                                | Dezentralisierungsschritte       | Max. Dezentralisierungsgrad (Fläche) | Rangfolge | Dezentralisierungsschritte       | Dezentralisierungsgrad (Fläche) | Einsparpotenzial (€/a) | Rangfolge |
| Kanalaufwand (KA)              | 32                               | 0,08                                 | 3         | 26                               | 0,07                            | 13.986                 | 3         |
| Baualter (BA)                  | 30                               | 0,09                                 | 2         | 18                               | 0,04                            | 35.614                 | 2         |
| Lokales Einsparpotenzial (LEP) | 41                               | 0,13                                 | 1         | 24                               | 0,06                            | 49.791                 | 1         |

Wie sich die von der Dezentralisierung betroffenen EE im Zustand des maximalen Dezentralisierungsgrades im Entsorgungsgebiet jeweils räumlich verorten, zeigt Abbildung 12-5.

In den Verteilungsmustern bilden sich die in Abschnitt 9.3 gebildeten Transformationssequenzen ab, die jeweils bis zum Erreichen des maximalen Dezentralisierungsgrades durchlaufen werden. Die im Pfad „Kanalaufwand“ dezentralisierten EE finden sich überwiegend in peripheren Lagen des Entsorgungsgebietes. Im Pfad „Baualter“ konzentriert sich die Abkopplung auf Randbereiche der Ortskerne, wo alte Netze anliegen. Im Pfad „Lokales Kosteneinsparpotenzial“ verläuft die Abkopplung ähnlich wie im Pfad Baualter, in der Tendenz aber stärker räumlich gestreut.

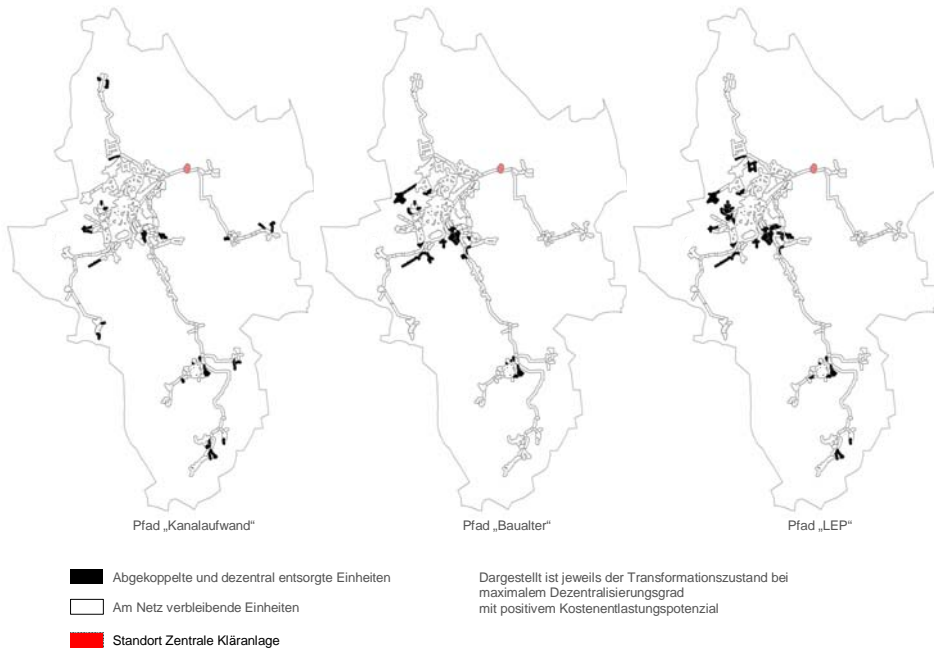


Abbildung 12-5: Verortung der abgekoppelten Entsorgungseinheiten in den alternativen Dezentralisierungspfaden im Zustand des maximalen Dezentralisierungsgrades

Im Vergleich des Dezentralisierungszustandes im Pfad „LEP“ mit den in Abbildung 9-5 dargestellten Ausprägungen der lokalen Kosteneinsparpotenziale in EE an den Netzen fällt auf, dass mehr EE abgekoppelt sind, als dort Netzen mit positivem lokalem Kosteneinsparpotenzial ausgewiesen sind. Weiter wird ersichtlich, dass auch EE abgekoppelt sind, die negative lokale Kosteneinsparpotenziale aufweisen. Ersteres ist auf den dynamischen Charakter des Merkmals Netzen zurückzuführen. Werden EE abgekoppelt, geht diese Ausprägung an die in Fließrichtung nachfolgende EE über, die bei entsprechender Ausprägung des lokalen Kosteneinsparpotenzials in einem der nachfolgenden Schritte abgekoppelt wird. Das zweitgenannte Phänomen liegt darin begründet, dass es sich bei dem im Bilanzierungsverfahren ermittelten Kostenentlastungspotenzial um eine kumulierte Größe handelt. Beiträge von EE mit positivem lokalem Kosteneinsparpotenzial werden, wenn sich an den Netzen keine entsprechenden Ausprägungen mehr finden, mit Beiträgen aus Netzen mit dem jeweils geringsten negativen lokalen Kosteneinsparpotenzial solange ausgeglichen, bis die kumulierte Kostenbilanzkurve die Nulllinie erreicht, was dem maximalen Dezentralisierungsgrad entspricht.

Den dargestellten Transformationsbildern liegt eine Fülle von Annahmen zugrunde, die in den vorangegangenen Abschnitten erarbeitet und begründet sind. Dabei wird zwischen Referenzannahmen und möglichen Variationsbandbreiten der einzelnen Para-

meter unterschieden. Im nachfolgenden Abschnitt 12.2 werden unter Beachtung dieser Variationsbandbreiten Sensitivitätsbetrachtungen durchgeführt. Dabei wird danach gefragt, in welcher Richtung und mit welcher Intensität sich die beiden betrachteten Bewertungskenngößen bei Variation einzelner Einflussparameter verändern, unter sonst gleich bleibenden Bedingungen.

## 12.2 Sensitivitätsbetrachtungen

Im Rahmen von Sensitivitätsanalysen kann geprüft werden, inwieweit das Ergebnis einer Berechnung auf Veränderungen einzelner Parameter reagiert. Durch Veränderung der Parameter in plausiblen Bandbreiten wird insbesondere getestet, ob die Ergebniswerte sich derart verändern, dass sich die unter Referenzbedingungen ermittelte Prioritätenrangfolge der Alternativen ändert (s. Hommel und Lehmann 2001, 116). LAWA (2005, 6-1 ff.) empfiehlt im Rahmen der Kostenbewertung von Abwasseranlagen unsichere Eingangsparameter einer Sensitivitätsbetrachtung zu unterziehen. Genannt werden in diesem Zusammenhang finanzmathematische Parameter wie Kapitalzinssatz, Kostensätze und Abschreibungsdauer sowie Nutzungsparameter wie z. B. die Bevölkerungsentwicklung. Die von LAWA (2005) empfohlenen Parameter werden durch weitere, im Modell verwendete Parameter ergänzt, die hinsichtlich der Setzungen mit besonderen Unsicherheiten behaftet sind. Tabelle 12-2 stellt die Parameter zusammen, die nachfolgend einer Sensitivitätsbetrachtung unterzogen werden.

Es werden drei Gruppen von Parametern unterschieden: Finanzmathematische Parameter, Demografie und Technik. Die angenommenen Wertebereiche der betrachteten finanzmathematischen Parameter werden in Anlehnung an die Ausführungen von LAWA (2005) und Franz et al. (2005: 144) angenommen. Unter „Demografie“ werden mögliche Ausprägungen der Bevölkerungsentwicklung insgesamt und der Bevölkerungsverteilung im Gebiet betrachtet. Bezüglich der Variationsbandbreiten zur Bevölkerungsentwicklung und zur intraregionalen Bevölkerungsverteilung wird auf die Ausführungen in Abschnitt 11.2 verwiesen. Der Parameter Gebäudeleerstand gibt Auskunft über die Verteilungsquoten des Wohnungsleerstandes im Gebäudebestand. Bezüglich dieses Parameters bestehen hohe Unsicherheiten, da die Statistik hierzu keine und die Literatur nur einzelfallbezogen Aussagen bereithält. Gleichzeitig hat dieser Parameter direkten Einfluss auf den Bedarf an Kleinkläranlagen (s. Abschnitt 6.3.3). Er wird deshalb in die Sensitivitätsbetrachtung mit aufgenommen. Mögliche Einflüsse unterauslastungsbedingter Kanalbetriebskosten in den von der Abkopplung betroffenen Einheiten auf die Kostenbilanz werden unter Verwendung pauschaler Aufschläge auf die jährlichen Kanalbetriebskosten nach Siedentop et al. (2006) berücksichtigt (s. Abschnitt 10.5.2.3). In der Gruppe „Technik“ werden unterschiedliche Varianten der Einleitung des in Kleinkläranlagen gereinigten Abwassers betrachtet. Hier wird im Mengengerüst zwischen Direkteinleitung (Drainage) und einer Variante der indirekten Einleitung unterschieden (s. Abschnitt 7.3). Die Variation des Nenn-

durchmessers für Kanäle greift den Umstand auf, dass bei der Erstellung des Mengen-gerüsts „Kanal“ dieses Merkmal nicht differenziert erhoben werden konnte und ent-sprechende Annahmen getroffen wurden (s. Abschnitt 7.1.2.2).

Tabelle 12-2: Parameter, für die Sensitivitätsbetrachtungen durchgeführt werden

| Parameter                       |  | Ausprägungen  |  | Bezug  |
|---------------------------------|--|---|--|--------|
|                                 |  | Referenzwert  | Variation  |        |
| Finanz-mathemati-sche Parameter | Kapitalzinssatz  | 3 %   | 2 %-5 %  | 1), 2) |
|                                 | Kostensätze  | Ref = 100 %   | Laufende Kosten: +/-5 %;<br>Investitionsausgaben:<br>+/-20%                      | 2)     |
|                                 | Nutzungsdauer Kanal  | 50  | 75   | 1)     |
| Demografie                      | Bevölkerungsentwicklung im Gesamtgebiet  | -20 %   | -30 % bis -10 %  | 3)     |
|                                 | Bevölkerungsverteilung innerhalb des Untersuchungsgebietes                                   | Ubiquitär   | Suburbanisierung;<br>Reurbanisierung   | 3)     |
|                                 | Faktor Gebäudeleerstand (Verteilungsquoten des Wohnungsleerstandes im Gebäudebestand)        | (Teilleerstand/<br>Totalleerstand)<br>MFH: 0,5/0,5<br>EFZH: 0,3/0,7 | „gering“: MFH: 0,7/0,3<br>EFZH 0,4/0,6;<br>„hoch“: MFH: 0,3/0,7,<br>EFZH 0,2/0,8 | 3)     |
|                                 | Unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten in den von der Abkopplung betroffenen Einheiten | Keine Berück-sichtigung   | 10 % Aufschlag auf die jährlichen Betriebskosten (bei Bev.-Verlust von 20 %)     | 4)     |
| Technik                         | Einleitung Dezentral   | Direkteinleitung  | Indirekteinleitung   | 3)     |
|                                 | DN Kanal   | DN 250  | DN 200 bis<br>DN 300   | 3)     |

1) in Anlehnung an LAWA (2005)  
2) in Anlehnung an Franz et al. (2005)  
3) eigene Plausibilitätsüberlegungen (s. Ausführungen in den nachfolgenden Abschnitten)  
4) in Anlehnung an Siedentop et al. (2006) (s. Abschnitt 10.5.2.3)

12.2.1 Wirkungsweise der Einzelparameter

Zunächst erfolgt eine prinzipielle Betrachtung der Wirkungsweisen der ausgewählten Einzelparameter auf die Bilanz von Transformationskosten und Kostenentlastungen.

12.2.1.1 Kapitalzinssatz

Kapitalkosten werden im hier verwendeten Verfahren in Form von Annuitäten ausgedrückt. Die Annuitäten werden durch Multiplikation der Investitionsausgaben mit dem Annuitätenfaktor berechnet. Eingangsparameter zur Berechnung des Annuitäten-faktors sind der Kapitalzins i und die Nutzungsdauer n Formel 12-1).

Formel 12-1:      Annuitätenfaktor

$$\text{ANF} = \frac{i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

ANF:    Annuitätenfaktor  
i:        Kapitalzins  
n:        Nutzungsdauer

Aus Formel 12–1 wird ersichtlich, dass die Erhöhung des Zinssatzes zu einer Erhöhung des Annuitätenfaktors und damit zu einer Erhöhung der hieraus berechneten Kapitalkosten führt. Wie stark sich eine Veränderung des Zinssatzes im Annuitätenfaktor niederschlägt, hängt vom zweiten in der Annuitätenformel verwendeten Parameter ab, der Nutzungsdauer  $n$ . Der Annuitätenfaktor reagiert bei einer hohen Nutzungsdauer sensibler auf Zinsveränderungen als bei einer kürzeren Nutzungsdauer. Damit reagieren die Kapitalkosten von Anlagen mit hoher Nutzungsdauer sensibler auf Zinsveränderungen als Kapitalkosten von Anlagen mit kürzerer Nutzungsdauer. Dieser Zusammenhang illustriert Abbildung 12-6. Aufgetragen ist die Veränderungsrate des Annuitätenfaktors bei unterschiedlichen Anlagennutzungsdauern unter Annahme der Variation des Kapitalzinssatzes von 3 % auf 5 % bzw. von 3 % auf 2 %<sup>91</sup>. Mit steigenden Nutzungsdauern steigt der Betrag der Veränderungsrate des Annuitätenfaktors bei angenommener Zinssatzänderung.

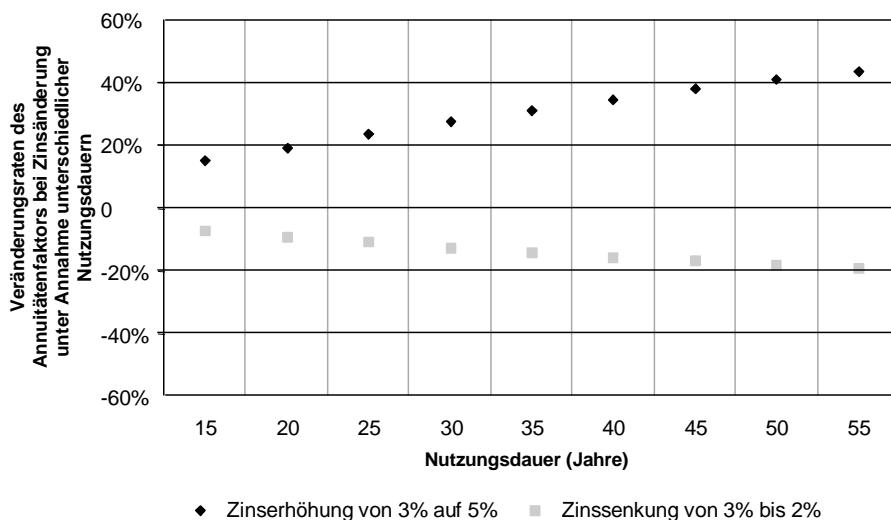


Abbildung 12-6: Veränderungsrate des Annuitätenfaktors bei Zinsänderung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Nutzungsdauern

<sup>91</sup> Die dargestellten Veränderungen des Kapitalzinssatzes entsprechen den in der Sensitivitätsbetrachtung berücksichtigten Variationen des Zinssatzes.

Die im Modell berücksichtigten Nutzungsdauern, die der Berechnung der relevanten Kapitalkosten der Kostenbilanz zugrunde liegen, sind in Tabelle 12-3 zusammengefasst.

*Tabelle 12-3: Nutzungsdauer der Abwasseranlagen, die der Berechnung der relevanten Kapitalkosten der Kostenbilanz zugrunde liegen*

| Transformationskosten         |   |                | Kostenentlastungen                   |                        |                       |
|-------------------------------|---|----------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Kostenart                     | relevantes Anlagenteil  | Nutzungs-dauer | Kostenart                            | relevantes Anlagenteil | Nutzungs-dauer        |
| Kapitalkosten Kleinkläranlage | Kleinkläranlage   | 25 Jahre       | Vermiedene Ersatzinvestitionen Kanal | Kanal                  | 50 Jahre bis 75 Jahre |
| Stilllegungskosten Kanal      | Pauschale Festlegung: „Nutzungsdauer“ der Stilllegungsmaßnahme = Betrachtungshorizont (s. Abschnitt 10.5.1.2) | 30 Jahre       |                                      |                        |                       |

Diese Zusammenstellung zeigt, dass Kapitalkostenarten auf beiden Seiten der Kostenbilanz auftreten. Variationen des Kapitalzinses wirken auf beiden Seiten gleichgerichtet. Zinserhöhungen führen sowohl zu höheren Transformationskosten auf der linken Seite der Bilanz als auch zu höheren Kostenentlastungen auf der rechten Seite der Kostenbilanz. Wie stark der Kostenanstieg auf die Gesamtkostenbilanz unter Ceteris paribus Bedingungen wirkt, wird vom jeweiligen Anteil der Kapitalkosten an den Transformationskosten bzw. Kostenentlastungen bestimmt. Je höher dieser Anteil ist, umso stärker kommen Zinsänderungen in der Kostenbilanz auf der betroffenen Seite zum Tragen. In der Tendenz variiert dieser Anteil auf Seiten der Kostenentlastungen stärker als auf Seiten der Transformationskosten. Abhängig vom Baualter der anliegenden Kanäle können Kapitalkosten die Positionen der Kostenentlastung dann dominieren, wenn für einen Großteil des anliegenden Kanalnetzes der von Dezentralisierung betroffenen Entsorgungseinheiten Ersatzinvestitionen anstehen. Stehen aber zum Zeitpunkt der Dezentralisierung keine Ersatzinvestitionen an, tragen ausschließlich die vermiedenen laufenden Kosten zu den Kostenentlastungen bei, auf die Veränderungen des Kapitalmarktzinses nicht unmittelbar wirken. Auf Seiten der Transformationskosten dominieren Kapitalkosten und laufende Kosten, die aus dem Ausbau der dezentralen Struktur entstehen. Das Verhältnis dieser beiden Größen ist in den Entsorgungseinheiten ähnlich (s. auch Abbildung 12-1). Je mehr der Aspekt vermiedener Ersatzinvestitionen also zum Tragen kommt, umso sensibler reagieren die Kostenentlastungen auf Kapitalzinsänderungen und umso mehr bewirken Zinssteigerungen einen überproportionalen Anstieg der Kostenentlastungen gegenüber den Transformationskosten, Zinssenkungen dagegen einen überproportionalen Rückgang. Dieser Effekt wird verstärkt durch die hohen Nutzungsdauern von Kanälen, die der Berechnung vermiedener Ersatzinvestitionen zugrunde liegen. Diese liegen deutlich über Zeiträumen, die der Be-

rechnung der Kapitalkostenpositionen auf Seiten der Transformationskosten wirksam werden (s. Tabelle 12-3). Treten dagegen Ersatzinvestitionen nur zu geringen Anteilen in Erscheinung, bewirkt eine Erhöhung (Rückgang) der Kapitalzinsen einen überproportionalen Anstieg (Rückgang) der Transformationskosten und damit einen Rückgang (Anstieg) der Kostenentlastungen in der Gesamtbilanz.

#### **12.2.1.2 Kostensätze**

In Anlehnung an Franz et al. (2005) werden Kostensätze laufender Kosten um  $\pm 5\%$ , die Sätze der Investitionsausgaben, welche die Höhe der Kapitalkosten bestimmen, um  $\pm 20\%$  variiert.

Auf beiden Seiten der Bilanz finden sich laufende Kosten und investitionssummenabhängige Kapitalkosten. Eine Erhöhung bzw. Verringerung der Kostensätze wirkt auf beiden Seiten der Kostenbilanz gleichgerichtet. Mit steigendem Anteil der Kapitalkosten steigt aufgrund der höheren Variationsbandbreite der kapitalkostenbedingenden Kostensätze die Sensibilität der Kosten der betroffenen Seite der Bilanz. In der Tendenz bewirkt die Variation der Kostensätze in den genannten Bandbreiten bei Vorliegen alter Netze mit hohem Ersatzbedarf eine Zunahme potenzieller Kosteneinsparungen bei einer Erhöhung der Kostensätze um die genannten Anteile bzw. ein Rückgang der potenziellen Kosteneinsparungen bei Ansatz der verringerten Kostensätze. Bei neueren Netzen mit geringem Ersatzbedarf verringert sich der Kapitalkostenanteil auf Seiten der Kosteneinsparungen gegenüber dem Kapitalkostenanteil auf Seiten der Transformationskosten. Dadurch wirkt in diesem Fall eine Erhöhung (Verringerung) der Kostensätze um die genannten Anteile auf Seiten der Transformationskosten zunehmend stärker, verglichen mit der Wirkung auf Seiten der Kostenentlastungen. Höhere Kostenkennwerte führen dann zu einem relativ stärkeren Anstieg, niedrige Kostenkennwerte zu einem relativ stärkeren Rückgang der Transformationskosten gegenüber den Veränderungen der Kosteneinsparungen. Ersteres bewirkt in diesem Falle eine Verringerung, letzteres eine Erhöhung der potenziellen Kosteneinsparungen in der Gesamtbilanz.

#### **12.2.1.3 Nutzungsdauer**

Je höher die Nutzungsdauer, umso geringer fallen die jährlichen Kapitalkosten aus und umgekehrt (s. Formel 12-1). Wie sich der Faktor Nutzungsdauer auf die Bilanz niederschlägt, ist damit in erster Linie von den vorgenommenen Setzungen für den Parameter Nutzungsdauer abhängig. Sind diese festgelegt (Modellfestlegungen s. Tabelle 12-3), ist die Kostenstruktur nach laufenden Kosten und Kapitalkosten entscheidend für die Stärke und Richtung des Einflusses des Parameters Nutzungsdauer auf die Bilanz (siehe hierzu auch Ausführungen in Abschnitt 12.2.1.1).



#### 12.2.1.4 Bevölkerungsentwicklung im Gesamtgebiet

Laufende Kosten der Kleinkläranlagen werden im vorliegenden Modell zum Großteil bezogen auf die Ausbaugröße der Anlagen kalkuliert. Lediglich der Anteil, der auf die Schlammmentsorgung entfällt, wird auslastungsbezogen berechnet (s. Abschnitt 10.5.1.1).

Die Anzahl der KKA ist im Modell an die Anzahl bewohnter Gebäude gekoppelt. Die Anzahl bewohnter Gebäude ist über die Parameter Wohnungsbelegung und Wohnungsleerstand und dem Faktor Gebäudeleerstand mit der Größe „Einwohnerzahl“ verknüpft. Mit Abnahme (Zunahme) der Einwohnerzahl verringert (erhöht) sich unter Ceteris paribus Bedingungen in der Tendenz die Zahl bewohnter Gebäude und damit der Bedarf an KKA in Abkopplungsgebieten. Dies bewirkt einen Rückgang (eine Zunahme) der Kapitalkosten auf Seiten der Transformationskosten. Kanal-Kapitalkosten bleiben von Veränderungen der Einwohnerzahl unberührt. Dasselbe gilt für laufende Kanalkosten unter Normalbetrieb.

Unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten steigen dagegen aufgrund damit verbundener Auslastungsrückgänge in der Tendenz mit zunehmender Schrumpfungsdynamik an. Hier unterscheidet das Modell zwischen unterauslastungsbedingten Kanalbetriebskosten in den von der Abkopplung betroffenen Einheiten und unterauslastungsbedingten Kanalbetriebskosten im verbleibenden Netz (s. Abschnitt 10.4). Unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten in den von der Abkopplung betroffenen Einheiten werden als Kostenentlastung verbucht. Unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten im verbleibenden Netz zählen, so wie sie in dieser Arbeit definiert sind, zu den Transformationskosten. Sie entstehen ursächlich durch Auslastungsveränderungen im verbleibenden Netz infolge von Abkopplungsmaßnahmen. Veränderungen der Einwohnerzahlen wirken hierauf nur indirekt, indem sich dadurch die Auslastung in den betroffenen Kanälen in Richtung kritischer Auslastungsschwellen verschiebt (s. Abschnitt 4.2).

Veränderungen der Bevölkerungszahl bewirken demnach insbesondere Kosteneffekte auf Seiten der Transformationskosten und dort bei den Kapitalkosten und laufenden Kosten, die aus dem Ausbau dezentraler Ablagen resultieren. Mehr Einwohner führen in der Tendenz zu steigenden, weniger Einwohner zu sinkenden Transformationskosten und damit in der Gesamtbilanz zu sinkenden bzw. steigenden Kostenentlastungspotenzialen. Dieser Effekt wird durch zusätzliche Kostenentlastungen durch unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten in den von der Abkopplung betroffenen Einheiten weiter verstärkt.

### **12.2.1.5 Bevölkerungsverteilung innerhalb des Untersuchungsgebietes**

Zur Ausdifferenzierung der Bevölkerungsentwicklungsdynamik innerhalb des Untersuchungsgebietes werden im Modell die Gebietskategorien „Kerngebiete“ und „Umlandgebiete“ unterschieden (s. Abschnitt 11.2.2). Hierin wird die Bevölkerungsentwicklungsdynamik in den Verteilungsmustern „Suburban“ (SUB) und „Reurban“ (REB) ausdifferenziert. Wie stark und in welche Richtung sich diese Verteilungsmuster auf die Transformationskosten auswirken, ist abhängig von deren Überlagerung mit den räumlichen Mustern der Transformationspfadabfolgen. Effekte können sich in der Kumulation der Einzeleffekte der entkoppelten Versorgungseinheiten verstärken oder gegenseitig abschwächen, je nachdem, wo sich die Einheiten im Einzelnen befinden. Die räumlichen Transformationsabfolgen verlaufen in den beschriebenen Pfaden unterschiedlich (s. Abschnitt 9.2). Somit kann auch die Wirkung der Variation des Parameters Bevölkerungsverteilung unterschiedliche Ausprägungen annehmen und nur pfadspezifisch aufgezeigt werden.

### **12.2.1.6 Faktor Gebäudeleerstand**

Mit dem Faktor Gebäudeleerstand werden Annahmen zur Verteilung des Wohnungsleerstandes im Gebäudebestand getroffen (s. Abschnitt 6.3.3.2). Hieraus wird unter Beachtung der Gebäudegröße die Anzahl leer stehender Gebäude berechnet. Mit Erhöhung des Anteils „Totalleerstand“ nimmt die Konzentration des Wohnungsleerstandes auf ganze Gebäude zu und die Anzahl leer stehender Gebäude steigt an (entsprechende Parameterausprägungen werden in Tabelle 12-2 als „hoch“ bezeichnet). Eine Reduzierung dieses Anteils führt zu einer stärkeren Dispersion des Wohnungsleerstandes im Gebäudebestand und damit zu weniger leer stehenden Gebäuden (entsprechende Parameterausprägungen werden in Tabelle 12-2 als „gering“ bezeichnet). Der Bedarf an Kleinkläranlagen ist an die Anzahl bewohnter Gebäude gekoppelt. Er steigt mit sinkendem und sinkt mit steigendem Gebäudeleerstand. Diese Bedarfsveränderungen bewirken Effekte bei den Kapitalkosten und laufenden Kosten der Bereitstellung und Nutzung von Kleinkläranlagen. Bei steigendem Gebäudeleerstand sinken, bei fallendem Gebäudeleerstand steigen die Transformationskosten. Damit steigt bzw. sinkt das Kostenentlastungspotenzial der Gesamtbilanz.

### **12.2.1.7 Unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten in den von der Abkopplung betroffenen Einheiten**

Unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten in den von der Abkopplung betroffenen Einheiten stellen Kostenentlastung dar. Ein Auftreten dieser Kosten führt bei Abkopplung der Einheit zu höheren Kosteneinsparpotenzialen (s. Abschnitt 12.2.1.4).

### 12.2.1.8 Systemlösung Dezentral

Mit dem Faktor „Systemlösung Dezentral“ erfolgt eine Variation auf Seiten der Anlagentechnik der Kleinkläranlagen. Dies wirkt auf Investitionsausgaben und auf laufende Kosten auf Seiten der Transformationskosten. Die Höhe der resultierenden Transformationskosten ist abhängig von der Höhe der spezifischen Kosten der Varianten. Die betrachtete Variante „Direkteinleitung“ weist höhere spezifische Kosten auf als die betrachtete Variante „Indirekteinleitung“ (s. Abschnitt 10.5.1.1). Mit Erhöhung des Anteils der Variante „Direkteinleitung“ erhöhen sich die Transformationskosten und verringern sich die erreichbaren Kosteneinsparpotenziale der Gesamtbilanz.

### 12.2.1.9 DN Kanal

Mit steigendem Nenndurchmesser (DN) steigen Investitionsausgaben (und damit auch die Höhe der Ersatzinvestitionen) und laufende Kosten der Kanalbereitstellung. Die bei Abkopplung entfallenden Ersatzinvestitionen und entfallenden laufenden Kanalkosten zählen zu den Kostenentlastungen. Steigende DN bewirken damit eine Zunahme der Kosten auf Seite der Kostenentlastungen und damit eine Zunahme des Kostenentlastungspotenzials.

### 12.2.1.10 Zusammenfassende Betrachtung

Die betrachteten Parameter können hinsichtlich ihrer Wirkungsweise auf die durchgeführte Kostenbilanz in zwei Wirkungskategorien unterschieden werden:

- Parameter mit eindeutiger Wirkrichtung bei Parametervariation und
- Parameter mit kontextabhängiger Wirkrichtung bei Parametervariation.

In die erste Gruppe fallen die Parameter, bei denen Ausprägungsveränderungen entweder nur auf einer Seite der Kostenbilanz wirksam werden oder auf Seiten der Transformationskosten und Kostenentlastungen gegenläufig wirken, sodass sie auf die Bilanz, in die die Positionen mit unterschiedlichen Vorzeichen eingehen, gleichgerichtet wirken. In die zweite Gruppe fallen die Parameter, bei deren Variation Kostenwirkungen auf beiden Seiten der Kostenbilanz gleichgerichtet auftreten können und deren Stärke kontextbezogen variiert (Tabelle 12-4).

Tabelle 12-4: Zusammenfassende Beschreibung der Wirkungsweisen der Einzelparameter auf die Kostenbilanz bei Parametervariation

| Parameter                     |   | Wirkungskategorie | Wirkungsweise  |
|-------------------------------|---|-------------------|--|
| Finanzmathematische Parameter | Kapitalzinssatz   | kontext-abhängig  | Bei Zinserhöhung steigende Transformationskosten (TK), steigende Kostenentlastungen (KE). Bei hohen Anteilen alter Netze mit Ersatzbedarf tendenziell höherer Effekt bei KE als bei TK und damit bei Zinserhöhung tendenziell steigendes Kostenentlastungspotenzial (KEP) in der Gesamtbilanz. |
|                               | Kostensätze   | kontext-abhängig  | Bei Erhöhung der Kostensätze steigende TK und KE. Bei hohen Anteilen alter Netze mit Ersatzbedarf tendenziell höherer Effekt bei KE als bei TK (s. o.).  |
|                               | Nutzungsdauer Kanal   | kontext-abhängig  | Bei Erhöhung der Nutzungsdauer sinkende TK und sinkende KE. Bei hier vorgenommener Variation (Variation Nutzungsdauer Kanal): bei Erhöhung der Nutzungsdauer sinkende KE und damit sinkendes KEP in der Gesamtbilanz.  |
| Demografie                    | Bevölkerungsentwicklung im Gesamtgebiet                               | eindeutig         | Bei zunehmendem Bevölkerungsrückgang sinkende TK und damit steigendes KEP in der Gesamtbilanz.   |
|                               | Bevölkerungsverteilung innerhalb des Untersuchungsgebietes            | kontext-abhängig  | Bei zunehmendem Bevölkerungsrückgang in den von Abkopplung betroffenen Einheiten sinkende TK und damit steigendes KEP in der Gesamtbilanz. Bevölkerungsdynamik variiert zwischen den EE. Wirkungsweise ist damit abhängig vom gewählten Pfad.  |
|                               | Faktor Gebäudeleerstand   | eindeutig         | Bei zunehmendem Gebäudeleerstand sinkende TK und damit steigendes KEP in der Gesamtbilanz.   |
|                               | Unterauslastungsbedingte KBK* in von Abkopplung betroffenen Einheiten | eindeutig         | Bei Auftreten unterauslastungsbedingter KBK in von Abkopplung betroffenen Einheiten Zunahme der KE und damit Zunahme des KEP in der Gesamtbilanz.  |
| Technik                       | Einleitung Dezentral  | eindeutig         | Bei Erhöhung des Anteils der Anlagen mit höheren spezifischen Kosten (hier Direkteinleitung) steigende TK und damit sinkendes KEP in der Gesamtbilanz.   |
|                               | DN Kanal  | eindeutig         | Bei Zunahme der DN steigende KE bei Abkopplung und damit steigendes KEP in der Gesamtbilanz  |

\*KBK: Kanalbetriebskosten

### 12.2.2 Wirkung der Einzelparameter

Die Ergebnisse der Sensitivitätsberechnungen innerhalb der Dezentralisierungspfade sind in Abbildung 12-7 zusammengefasst. Darin sind jeweils die prozentuale Abweichung vom Referenzzustand bei Variation des jeweiligen Einzelparameters in den aufgeführten Variationsbandbreiten unter Ceteris paribus-Bedingungen angegeben. Die Grafiken der linken Spalte fassen die Sensitivitäten bezogen auf den maximalen positiven Dezentralisierungsgrad zusammen, die Grafiken der rechten Spalte beziehen sich auf das maximale Kosteneinsparpotenzial. Die übereinander angeordneten Schaubilder

innerhalb der Spalten beziehen sich auf jeweils einen der drei betrachteten Dezentralisierungspfade. Die Ausprägungen der Einzelparameter können der Legende im unteren Teil der Abbildung entnommen werden.

Zunächst fällt auf, dass Veränderungen des maximalen Dezentralisierungsgrades bei Parametervariation stufenweise verlaufen, Veränderungen des maximalen Kosteneinsparpotenzials verlaufen dagegen kontinuierlich. Das Auftreten von Veränderungsstufen bei der Bewertungsgröße „maximaler Dezentralisierungsgrad“ ist dem Umstand geschuldet, dass jeweils ganze Entsorgungseinheiten in Abhängigkeit des Erreichens des Schwellenwertes „Gesamtbilanz größer bzw. gleich 0“ abgekoppelt werden (s. auch Formel 10-4 in Abschnitt 10.6.2). Sind die Kosteneffekte zu gering, um diesen Schwellenwert zu überspringen, bleibt der maximale Dezentralisierungsgrad auf einer vorhergehenden Stufe stehen, auch wenn sich das Kosteneinsparpotenzial verändert<sup>92</sup>.

Die Änderungsrichtungen des maximalen Dezentralisierungsgrades und des maximalen Kosteneinsparpotenzials stimmen über alle drei Pfade bei allen vorgenommenen Parametervariationen jeweils überein (horizontaler Vergleich der Sensitivitäten der Einzelparametervariation, bezogen auf die Darstellung in Abbildung 12-7).

Bei den Parametern mit eindeutiger Wirkrichtung auf die Bilanz (Wirkungskategorie „eindeutig“ in Tabelle 12-4.) zeigt sich erwartungsgemäß eine Übereinstimmung der Änderungsrichtungen der jeweiligen Zielgrößen in den drei Dezentralisierungspfaden (vertikaler Vergleich der Sensitivitäten der Einzelparametervariation, bezogen auf die Darstellung in Abbildung 12-7). Dies trifft bei Parametern mit kontextabhängiger Reaktionsweise nicht in jedem Fall zu. So unterscheiden sich die Wirkungsrichtungen der Sensitivitäten bei den Parametern „Kostensätze“ und „Bevölkerungsverteilung“ zwischen den Pfaden „Kanalaufwand“ und den beiden anderen Pfaden. Beim Parameter „Kostensätze“ ist dies auf die abweichende Konstellation der Kostenstrukturen zurückzuführen (s. Abschnitt 12.2.1.2).

---

<sup>92</sup> Für die Merkmale „Nutzungsdauer Kanal“ (n Kanal), „Unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten in von Abkopplung betroffenen Einheiten“ und „Einleitung Dezentral“ wird neben der Referenzausprägung der Parameter jeweils nur eine Alternativausprägung betrachtet. Entsprechend können die resultierenden Sensitivitäten hier nur in eine Richtung ausschlagen.

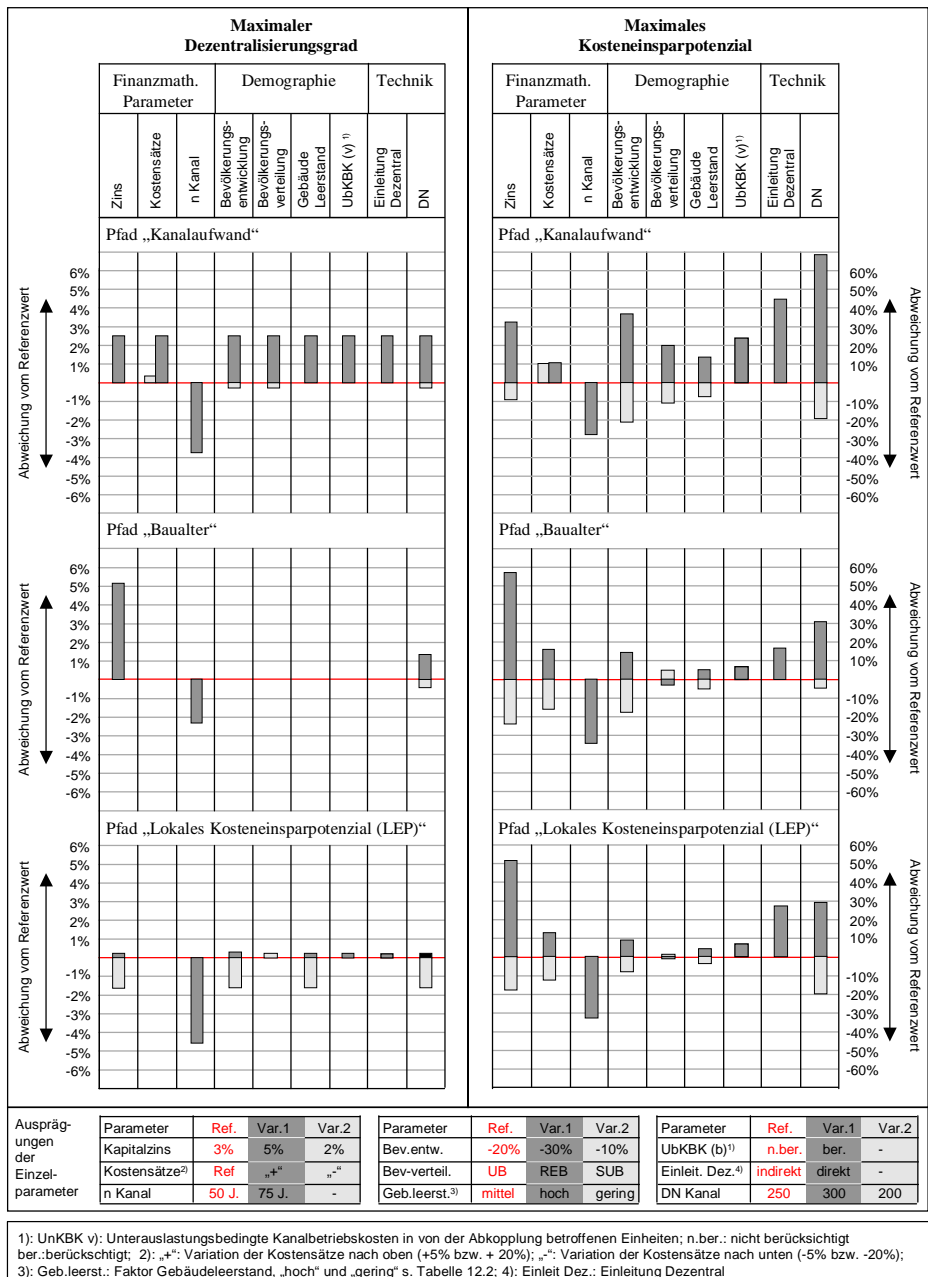


Abbildung 12-7: Sensitivitäten der Zielgrößen der Kostenbewertung in den drei Dezentralisierungspfaden

Beim Parameter „Bevölkerungsverteilung“ beruht dies auf abweichenden Überlagerungen der jeweiligen Transformationsabfolgen mit dem Kern- und Umlandgebiet, innerhalb derer die Ausdifferenzierung der Bevölkerungsdynamik erfolgt (s. hierzu Abschnitte 11.2.2 und 12.2.1.5). Der Pfad „Kanalaufwand“ koppelt Einheiten in der Tendenz von „Außen“ nach „Innen“ ab. Unter Reurbanisierungsannahmen (REB) kommt es in den betroffenen Einheiten zu verstärktem Bevölkerungsverlust, mit positivem Effekt auf die Bilanz (steigendes Kostenentlastungspotenzial). Im Suburbanisierungsfall tritt der gegenläufige Effekt ein. Im Pfad „Baualter“ sind dagegen vor allem Gebiete von der Dezentralisierung betroffen, in denen die Schrumpfung im REB-Fall abgeschwächt und im SUB-Fall verstärkt wird. Entsprechend entstehen hier gegenläufige Effekte. Dasselbe gilt abgeschwächt für den LEP-Pfad, wo die Transformation gegenüber dem Pfad „Baualter“ gestreuter erfolgt (s. hierzu auch Abschnitt 9.3).

Ob und wie sich die Rangfolgen der drei Pfade bezüglich der betrachteten Zielgrößen bei Variation der Einzelparameter gegenüber dem Referenzzustand ändern, ist in Abbildung 12-8 ablesbar.

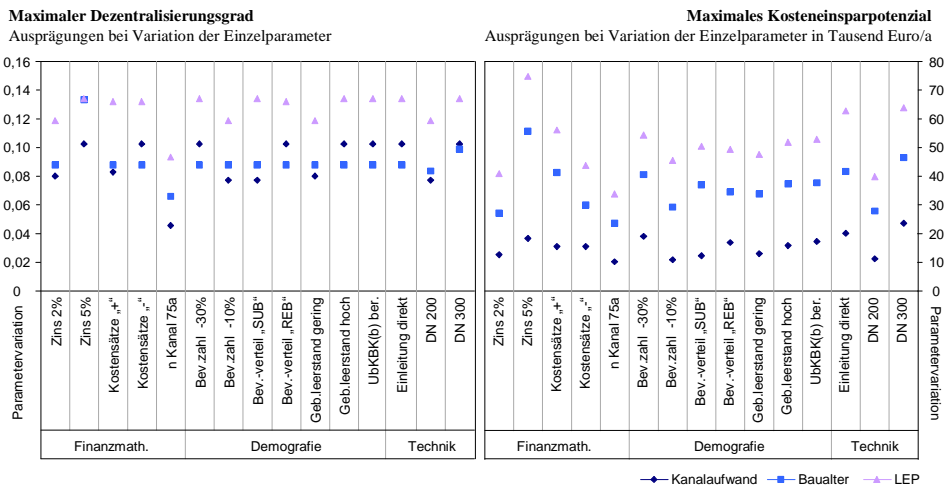


Abbildung 12-8: Merkmalsausprägungen der Zielgrößen bei Variation der Einzelparameter

Unter Referenzbedingungen lautete die Rangfolge der drei Varianten bezogen auf den maximalen Dezentralisierungsgrad sowie das maximale Kosteneinsparpotenzial wie folgt: „LEP“ (1), „Baualter“ (2), „Kanalaufwand“ (3) (s. Abschnitt 12.1). Bezüglich des maximalen Kosteneinsparpotenzials bleibt diese Rangfolge bei Variation der Einzelpa-  
rameter erhalten (rechte Grafik der Abbildung 12-8).

Auch bezogen auf den maximalen Dezentralisierungsgrad bleibt der Pfad LEP in allen Einzelbetrachtungen auf Platz eins der Rangfolge. Zwischen den Pfaden Baualter und  
Kanalaufwand bewirken die Parametervariationen jedoch zum Teil Rangfolgeverschie-

bungen. Dies ist bei den Parametern „Kostensätze“, „Bevölkerungsentwicklung“, „Bevölkerungsverteilung“, „Gebäudeleerstand“ und „DN-Kanal“ zu beobachten. Der maximale positive Dezentalisierungsgrad reagiert im Pfad Kanalaufwand insgesamt sensibler auf Parametervariation als im Pfad Baualter.

Die Zusammenhänge, die hierzu führen, werden durch einen Blick auf die jeweilige Kostenstruktur der in die Bilanz eingehenden Positionen, die sich im Zustand des maximalen Dezentalisierungsgrades in den Pfaden einstellt, deutlich (s. Abbildung 12-9).

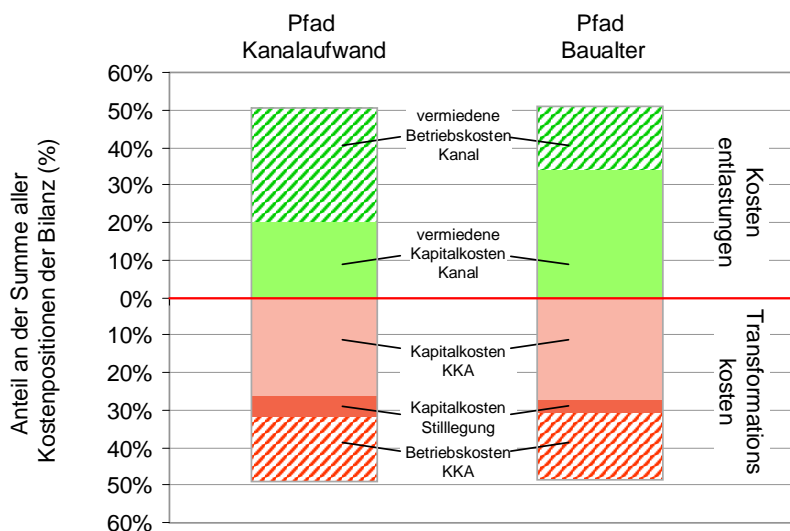


Abbildung 12-9: Kostenstruktur in den Dezentalisierungspfaden „Kanalaufland“ und „Baualter“ bei maximalem Dezentalisierungsgrad ( $DZ_{max}$ ) unter Referenzbedingungen

Bei den Transformationskosten zeigen die dargestellten Pfade bei  $DG_{max}$  ähnliche Kostenstrukturen auf: Unterschiede treten jedoch bei den Kostenentlastungen auf. Hier ist der Anteil der kanalbedingten Kapitalkosten im Pfad Baualter deutlich höher als im Pfad Kanalaufwand, wo bei neueren Netzen in den dezentralisierten EE sunk costs bestehen bleiben und nicht als Kostenentlastung wirksam werden. Im Pfad Kanalaufwand dominieren auf Seiten der Kostenentlastungen die betriebsabhängigen Kostenarten, auf Seiten der Transformationskosten die Kapitalkosten. Veränderungen von Parametern, die auf Betriebs- und Kapitalkosten unterschiedlich stark wirken, wirken sich damit unterschiedlich stark auf den beiden Seiten der Bilanz aus und beeinflussen somit das Ergebnis der Gesamtbilanz. Dies ist im Pfad Baualter weniger der Fall, da hier die Aufteilung auf Betriebs- und Kapitalkosten auf beiden Seiten der Bilanz ähnlicher ist. So bewirkt beispielsweise die vorgenommene Reduktion der Kostensätze (für Investitionen um 20 % und für Betriebskosten um 5 %) im Pfad Kanalaufwand eine deutlich stärkere Verringerung der Kapitalkosten auf Seiten der Transformationskosten, als auf Seiten der Kostenentlastungen. Im Pfad Baualter wirkt die entsprechende Pa-



rametervariation auf beiden Seiten der Bilanz aufgrund vergleichbarer Kostenstrukturen ähnlich stark. Die Effekte heben sich in der Bilanz weitgehend auf. Entsprechend lassen sich auch die Mechanismen der Wirkungsweisen der drei weiteren genannten Parameter erklären, die zu Rangfolgeverschiebungen führen.

12.3 Formulierung von Extrembildern

Die Wirkungen der in den Empfindlichkeitsuntersuchungen betrachteten Einzelparame-ter überlagern sich. Es kommt zu Verstärkungs- und Kompensationseffekten. Durch die Bündelung der Merkmalsausprägungen mit gleicher Wirkungsrichtung lassen sich theoretische Extrembilder formulieren, die Extremausprägungen des maximalen De-zentralisierungsgrades und des maximalen Kosteneinsparpotenzials erwarten lassen. Nachfolgend wird unter Beachtung der im vorangehenden Abschnitt aufgezeigten Wirkungsweisen eine entsprechende Bündelung von Merkmalsausprägungen mit glei-cher Wirkungsrichtung vorgenommen. Dabei werden Merkmalsbündel jeweils für den „best-case“-Fall und den „worst-case“-Fall festgelegt. Im „best-case“-Fall werden jeweils die Parameterausprägungen berücksichtigt, die zu den höchsten Ausprägungen des maximalen Dezentralisierungsgrades und des maximalen Kosteneinsparpotenzials führen. Im „worst-case“-Fall werden die Parameterausprägungen gebündelt, die zu den niedrigsten Ausprägungen der beiden Größen führen (s. Tabelle 12-5).

Tabelle 12-5: Bündel der Merkmalsausprägungen zur Formulierung von Extrembildern

| Parameter                    | Best-case-Ausprägungen im Pfad ... |                     |                     | Worst-case-Ausprägungen im Pfad ... |                              |                              |
|------------------------------|------------------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                              | Kanal-aufwand                      | Baualter            | LEP                 | Kanal-aufwand                       | Baualter                     | LEP                          |
| Kapitalzins                  | 5 %                                | 5 %                 | 5 %                 | 2 %                                 | 2 %                          | 2 %                          |
| Kostensätze                  | „+“                                | „+“                 | „+“                 | Ref.                                | „-“                          | „-“                          |
| Nutzungsdauer Kanal          | 50                                 | 50                  | 50                  | 75                                  | 75                           | 75                           |
| Bevölkerungsentwick-<br>lung | -30 %                              | -30 %               | -30 %               | -10 %                               | -10 %                        | -10 %                        |
| Bevölkerungsvertei-<br>lung  | REB                                | SUB                 | SUB                 | SUB                                 | REB                          | REB                          |
| Gebäudeleerstand             | hoch                               | hoch                | hoch                | gering                              | gering                       | gering                       |
| UbKBK (b) <sup>93</sup>      | berücksich-<br>tigt                | berücksich-<br>tigt | berücksich-<br>tigt | nicht<br>berücksich-<br>tigt        | nicht<br>berücksich-<br>tigt | nicht<br>berücksich-<br>tigt |
| Einleitung Dezentral         | direkt                             | direkt              | direkt              | indirekt                            | indirekt                     | indirekt                     |
| DN Kanal                     | 300                                | 300                 | 300                 | 200                                 | 200                          | 200                          |

<sup>93</sup> unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten in EE, die dezentralisiert werden („b“ steht für „von Dezentralisierung betroffen“)

Der maximale Dezentralisierungsgrad sowie das maximale Kosteneinsparpotenzial, die sich jeweils im „best-case“-Fall und „worst-case“-Fall berechnen lassen, sind Tabelle 12-6 zu entnehmen. Die Gegenüberstellung der Werte zeigt, dass der Pfad „LEP“ auch hier in beiden Extrembildern den ersten Platz der Rangfolge einnimmt. Im „best-case“-Fall bleibt auch die unter Referenzbedingungen errechnete Rangfolge der Varianten „Kanalaufwand“ und „Baualter“ erhalten. Im „worst-case“-Fall wechselt dagegen die Rangfolge von „Baualter“ und „Kanalaufwand“ bei beiden Bewertungsgrößen gegenüber dem Referenzfall. Ursachen hierfür sind wieder auf den oben beispielhaft dargestellten Zusammenhang zwischen Charakter der jeweiligen Parameter und Kostenstruktur in den Dezentralisierungszuständen zurückzuführen.

*Tabelle 12-6: Ausprägungen der Bewertungsgrößen und Rangfolge der Varianten in den Extrembildern*

| Pfad         | Maximaler positiver Dezentralisierungsgrad |           |                   |           | Maximales Kosteneinsparpotenzial ... |           |                   |           |
|--------------|--|-----------|-------------------|-----------|--------------------------------------|-----------|-------------------|-----------|
|              | „best-case“-Fall                           | Rangfolge | „worst-case“-Fall | Rangfolge | „best-case“-Fall                     | Rangfolge | „worst-case“-Fall | Rangfolge |
| Kanalaufwand | 0,255                                      | 3         | 0,017             | 2         | 57.378                               | 3         | 2.591             | 2         |
| Baualter     | 0,292                                      | 2         | 0,004             | 3         | 142.742                              | 2         | 170               | 3         |
| LEP          | 0,312                                      | 1         | 0,080             | 1         | 179.970                              | 1         | 20.311            | 1         |

In allen resultierenden Bildern sind die berechneten maximalen Kosteneinsparpotenziale positiv und damit auch der maximale Dezentralisierungsgrad größer 0. Im „worst-case“-Fall werden insbesondere in den Pfaden Kanalaufwand und Baualter jedoch vergleichsweise geringe Kosteneinsparpotenziale und Dezentralisierungsgrade erreicht.

Aus Abbildung 12-10 sind die Verläufe der Bilanzwerte bei unterstellten Extremannahmen am Beispiel der Pfade „Kanalaufwand“ und „LEP“ ersichtlich. Im „best-case“-Fall verläuft die Summenkurve der Kostenbilanz oberhalb der Referenzkurve, im „worst-case“-Fall unterhalb der Referenzkurve. Die beiden Kurven schließen damit einen Wertebereich denkbarer Ausprägungen der maximalen positiven Dezentralisierungsgrade bzw. maximaler Kosteneinsparpotenziale ein, unter Beachtung der Bandbreiten möglicher Parameterausprägungen.

Die räumlichen Strukturen der Dezentralisierungszustände, bei denen unter den beschriebenen Extremannahmen die maximalen positiven Dezentralisierungsgrade erreicht werden, zeigt nachfolgende Abbildung 12-11. Unter „worst-case“-Bedingungen findet Dezentralisierung nur vereinzelt in sehr wenigen Versorgungseinheiten statt. Deutlich großflächiger fallen die Eingriffe unter „best-case“-Bedingungen aus.

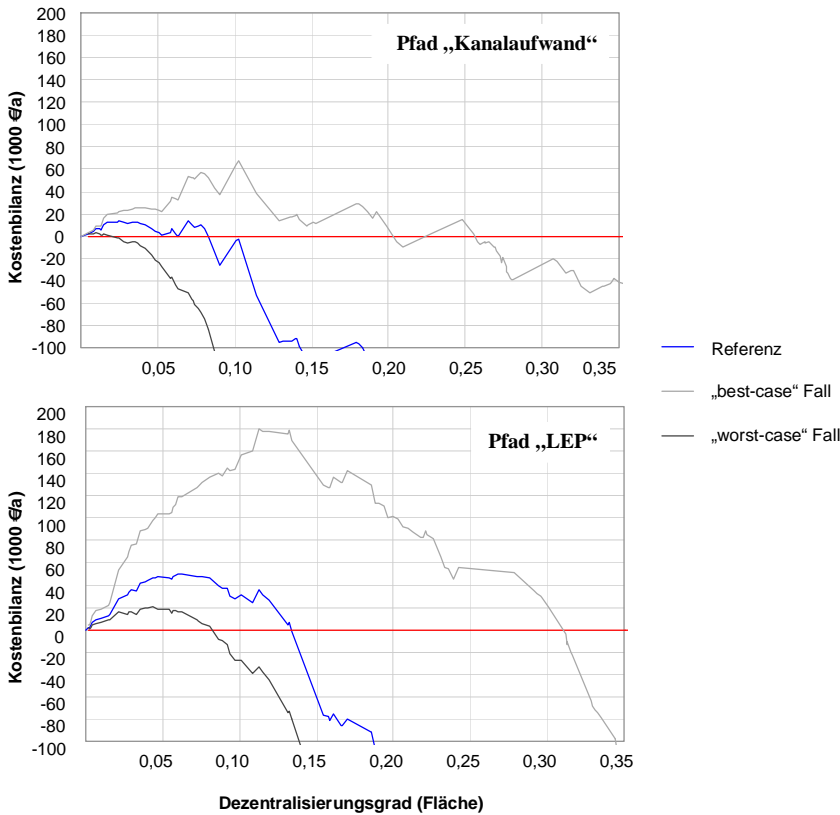


Abbildung 12-10: Verlauf der Bilanzwerte bei Extremannahmen in den Pfaden Kanalaufwand und LEP

Beim Vergleich der Dezentalisierungszustände in den beiden dargestellten Dezentalisierungspfaden fällt auf, dass die abgekoppelten Einheiten größtenteils nicht deckungsgleich sind. Die Dezentalisierungseingriffe verlaufen nahezu invers. Weiter wird deutlich, dass auch unter extrem günstigen Voraussetzungen („best-case“-Fall) Dezentralisierung unter Kostengesichtspunkten nur für Ausschnitte des Gesamtentsorgungsgebietes sinnvoll ist. Für den größeren Flächenanteil des Entsorgungsgebietes erweist sich die Beibehaltung des zentralen Systems als kostengünstigere Variante. Dies zeigt sich bereits in der Darstellung der Kostenbilanzsummenkurven (s. Abbildung 12-10) bzw. der Kennzahl des maximalen Dezentalisierungsgrades (s. Tabelle 12-6). In der kartografischen Darstellung kommt als zusätzliche Information die räumliche Verortung der auch unter günstigen Dezentalisierungsvarianten am Netz verbleibenden Entsorgungseinheiten hinzu.

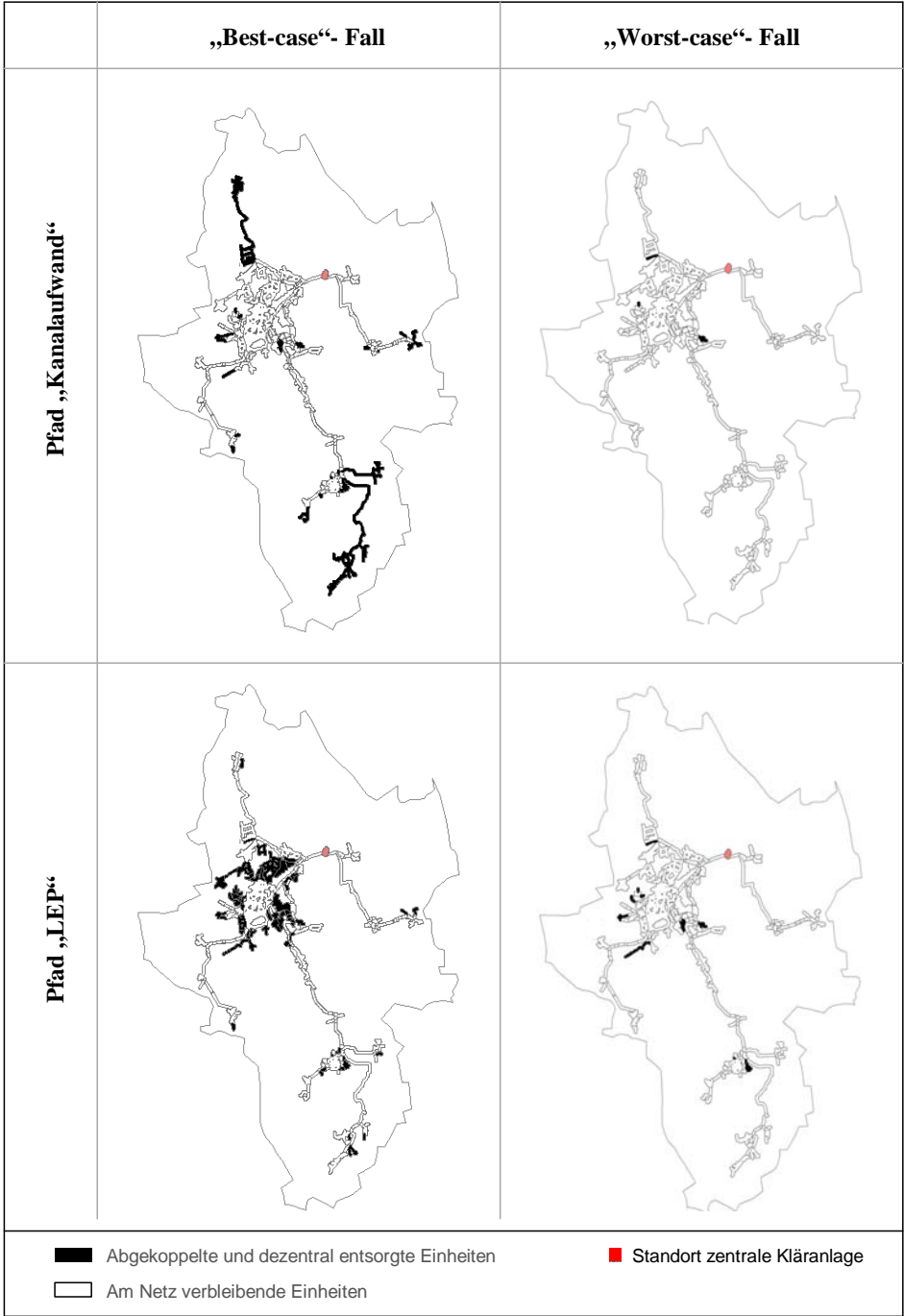


Abbildung 12-11: Räumliche Strukturbilder im Zustand „maximaler Dezentalisierungsgrad“ der Pfade „Kanalaufwand“ und „LEP“ in den Extrembildern



## **D Interpretation und Ergebnisse**

### **13 Auswertung und Interpretation**

#### **13.1 Überprüfung der Ausgangshypothese**

Im Falle rückläufiger Bevölkerungszahlen können bei vorhandener zentraler Abwasserentsorgung Entsorgungskosten reduziert werden, wenn es gelingt, in Teilgebieten mit überdurchschnittlich hohen zentralen Erschließungsaufwendungen zu dezentralisieren. So lautet die eingangs formulierte Ausgangshypothese.

Für alle drei entworfenen Dezentralisierungspfade geht die Größe „zentraler Erschließungsaufwand“ in die Festlegung der Pfadabfolge ein. Im Einzelnen wird dieser jedoch unterschiedlich operationalisiert. Im Pfad „Kanalaufwand“ wird der spezifische physische Erschließungsaufwand je angeschlossenem Einwohnergleichwert als Kriterium herangezogen. Hier wird implizit unterstellt, dass bei Abkopplung von Einheiten mit größtem spezifischem Erschließungsaufwand die höchsten Kostenentlastungen zu erwarten sind. Im Pfad „Baualter“ wird dem Ersatzaufwand im zentralen System prioritäre Beachtung geschenkt. In Einheiten mit höchstem Ersatzaufwand werden hier die größten Einsparpotenziale erwartet. Im Pfad „lokales Einsparpotenzial“ (LEP) werden größte Einsparpotenziale dann erwartet, wenn Einheiten mit der günstigsten lokalen Kostenbilanz (s. Abschnitt 9.2.4) jeweils prioritär dezentralisiert werden.

Unter Referenzbedingungen können in allen drei Pfaden Dezentralisierungszustände aufgezeigt werden, die zu Kostenentlastungen gegenüber der Beibehaltung der zentralen Struktur im Ausgangszustand führen. Auch bei Variation der Eingangsparameter innerhalb plausibler Bandbreiten bleibt die Bilanz aus positiv bewerteten Kostenentlastungen und negativ bewerteten Transformationskosten in allen drei Pfaden jeweils positiv. Selbst im Extrembild des konstruierten „worst case“ Falles, wo eine Überlagerung ungünstiger Dezentralisierungsbedingungen angenommen wird, errechnen sich in allen drei Pfaden durch Dezentralisierung erreichbare Kostenentlastungspotenziale. Ob diese Ergebnisse einer kritischen Überprüfung der dem Berechnungsverfahren zugrunde liegenden Annahmen standhalten, soll im Folgenden erörtert werden.

Mit den in Abschnitt 1.4.1 getroffenen Festlegungen wird die Aufgabenstellung konkretisiert und der Betrachtungsrahmen der vorgenommenen Analysen abgesteckt. Konkretisierungscharakter haben Festlegungen zum Kostenbegriff, die Festlegungen zur räumlichen Systemgrenze und getroffene inhaltliche Schwerpunktsetzungen. Der räumliche Bezugsrahmen wird mit der Festlegung abgesteckt, die Untersuchungen auf der Ebene „Entsorgungsgebiet“ vorzunehmen. Die inhaltliche Konkretisierung erfolgt durch die Fokussierung auf den Bereich der technischen Systeme, was eine Ausklammerung der Reflexion organisatorischer und Managementstrukturen bedeutet. Andere Punkte betreffen pragmatische Modellfestlegungen und -vereinfachungen. Zu nennen

sind hier die Fokussierung auf Schmutzwasser und damit die Ausklammerung des Bereichs Niederschlagswasser, die Vernachlässigung unterauslastungsbedingter Kanalbetriebskosten im verbleibenden Netz, die Ausklammerung von Effekten in der zentralen Behandlungsanlage sowie die Festlegung des Betrachtungszeitpunktes. Hierauf soll im Folgenden eingegangen werden.

### **13.1.1 Kostenbegriff**

Die Festlegung, die Untersuchungen auf der Ebene eines Entsorgungsgebietes durchzuführen, wird damit begründet, dass diese Ebene auch Kostenbilanzraum der Abwasserentsorgung ist. Verwendet wird ein wertmäßiger Kostenbegriff unter Beachtung aller relevanten Kosten, die durch den Umbau tangiert werden. Klar abzugrenzen hiervon ist der Anspruch, eine Kostenrechnung vorzulegen, aus der unmittelbar Aussagen zur möglichen Entwicklung zukünftiger Gebühren hervorgehen. Dieser Anspruch wird hier nicht verfolgt. In diesem Falle wären andere, zusätzliche Aspekte zu beachten, die hier bewusst ausgeklammert werden, wie beispielsweise Finanzierungs- und Fördermodalitäten (siehe hierzu auch Abschnitt 10.2.3). Auseinandersetzungen, wie die aus dem Umbau resultierenden Kosten aufgeteilt werden können, wer sie zu tragen hat, welche Fördermöglichkeiten bestehen etc., können hieran anknüpfen.

### **13.1.2 Räumliche Systemabgrenzung**

Innerhalb eines Entsorgungsgebietes sind in der Regel nicht alle Siedlungseinheiten an das zentrale Netz angeschlossen. Im Entsorgungsgebiet des gewählten Fallbeispiels liegt der Anschlussgrad insgesamt bei 70 % bis 80 % (s. Abschnitt 5). Der Analyse-raum umfasst diese im Ausgangszustand zentral erschlossenen Entsorgungseinheiten. Siedlungsgebiete, die hiervon nicht betroffen sind, z. B. weil sie im Ausgangszustand bereits dezentral entsorgt werden, werden in den Modellrechnungen nicht betrachtet. Die so festgelegte Gebietsabgrenzung ist auf die zugrunde liegende Fragestellung zurückzuführen. Thematisiert wird der Umbau eines vorhandenen zentralen Systems, nicht die Entwicklung eines umfassenden Entsorgungskonzeptes unter Einbeziehung aller Siedlungsgebiete im Entsorgungsgebiet, ggf. auch angrenzender Entsorgungsgebiete. Dies bedeutet nicht, dass die nicht angeschlossenen Gebiete bei der Entwicklung wasserwirtschaftlicher Konzepte auszuschließen sind. Im Gegenteil, aus Ergebnissen, wie sie in dieser Arbeit gewonnen werden, können sich neue Optionen für die Gestaltung von Abwasserkonzepten auch für die hier aus der Betrachtung ausgeschlossenen Gebiete ergeben.

Die vorgenommene räumliche Systemabgrenzung ist somit aus gegebenen Sachzusammenhängen vor dem Hintergrund der aufgeworfenen Fragestellung gerechtfertigt und stellt einen sinnvollen Rahmen zur Einordnung der Ergebnisse dar. Einschränkungen hinsichtlich der Aussagefähigkeit der Ergebnisse zur Überprüfung der Ausgangsthese gehen hiervon nicht aus.

### 13.1.3 Fokussierung auf das technische System der Abwasserentsorgung

Sowohl im technischen, als auch im organisatorischen System bestehen Ansatzpunkte möglicher Kostenreduktionen. Im Bereich der organisatorischen Systeme werden diese insbesondere in der Bündelung und Nutzung von Spezialisierungsvorteilen z. B. im Rahmen von Kooperationen gesehen, im Bereich technischer Systeme in der Gestaltung der Standortstruktur und der Dimension der Anlagen (s. auch Abschnitt 3.2, sowie Eekhoff et al. 2006, 38 ff.; Thurn et al. 2005, 99). Die beiden Bereiche können jedoch zunächst völlig unabhängig voneinander diskutiert werden. So ist nach Schulze 1994, 37 (zitiert in Rendigs, Tranow 2006, 68) die Frage der Konzeption der Entsorgung unabhängig von der Organisationsform zu sehen. Ebenso wie die räumliche Systemabgrenzung ist somit die inhaltliche Fokussierung der Arbeit auf das technische System der Abwasserentsorgung als Einordnungshilfe der Arbeit zu verstehen.

### 13.1.4 Eingrenzung auf den Bereich Schmutzwasser

Die Untersuchungen werden am Beispiel der Schmutzwasserentsorgung durchgeführt. Der Bereich Niederschlagswasser wird in der Bilanzrechnung nicht mit betrachtet. Diese Vereinfachung wird damit begründet, dass in dünn besiedelten, ländlich strukturierten Gebieten, wo potenzielle Abkopplungsgebiete vermutet werden, Niederschlagswasser oftmals dezentral ab- und eingeleitet wird. Auch im betrachteten Untersuchungsgebiet finden sich in den peripheren Ortslagen überwiegend Trennsysteme. Mischsysteme liegen dagegen vor allem im Kernsiedlungsgebiet des Hauptortes an (s. Abschnitt 7.1.2.1, Abbildung 7-2).

Beim Entwurf der Dezentalisierungspfade kristallisieren sich aber sehr unterschiedliche räumliche Dezentalisierungsabfolgen heraus. Während sich im Pfad „Kanalaufwand“ Abkopplungsgebiete überwiegend in den entfernteren Ortslagen mit Getrenntentwässerung finden, setzt die Dezentalisierung im Pfad „Baualter“, und abgeschwächt im Pfad „LEP“, an den Randgebieten der Kernsiedlungsgebiete an, wo zum Teil auch Mischentwässerungsgebiete von der Abkopplung betroffen sind. In diesen Teilgebieten würde sich die Bilanz bei Berücksichtigung des Bereichs Niederschlagswasser verschlechtern, da zusätzlich alternative Lösungen für die Niederschlagswasserbeseitigung zu berücksichtigen wären.

Es zeigt sich also, dass es in Entsorgungsgebieten, in denen zum Teil Mischentwässerung anliegt, durchaus geboten ist, diese Systeme mit in die Betrachtung einzubeziehen, selbst wenn sich die Gebiete in Kerngebieten befinden, bei denen man zunächst nicht von einer Abkopplung ausgehen würde. Dies gilt insbesondere dann, wenn diese Gebiete vergleichsweise alte Anlagenbestände aufweisen, bei denen innerhalb des Betrachtungszeitraumes von Ersatzinvestitionen auszugehen ist.

Die Ausgrenzung des Bereichs Niederschlagswasser kann demnach zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen, welche die Interpretierbarkeit der Ergebnisse einschränkt. Dies



betrifft im vorliegenden Fall insbesondere die berechneten Ergebnisse der Pfade, innerhalb derer Entsorgungseinheiten mit anliegender Mischentwässerung zum berechneten positiven Einsparpotenzial beitragen. Hier kann es zu einer Verschiebung der Rangfolgen oder aber zu einem anderen Pfadverlauf kommen, wenn der Betrachtungsrahmen entsprechend erweitert wird.

### **13.1.5 Unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten im verbleibenden Netz**

Bei Unterschreitung kritischer Auslastungsschwellenwerte können zusätzliche Maßnahmen zur Erhaltung der Funktionstüchtigkeit der betroffenen Anlagen erforderlich werden. Dadurch entstehen zusätzliche Kosten (s. Abschnitt 4.2). In dieser Arbeit wird unterschieden zwischen unterauslastungsbedingten Kanalbetriebskosten in den von der Abkopplung betroffenen Einheiten und unterauslastungsbedingten Kanalbetriebskosten im verbleibenden Netz nach Abkopplung von Entsorgungseinheiten. Erstere führen in der Bilanz zu potenziellen Kostenentlastungen, letztere zu einer Erhöhung der Transformationskosten (s. Abschnitt 10.4). Die Wirkung unterauslastungsbedingter Kanalbetriebskosten in den von der Abkopplung betroffenen Einheiten wird im Rahmen der Sensitivitätsbetrachtungen mitberücksichtigt (s. Abschnitt 12.2). Unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten im verbleibenden Netz sind in der Modellrechnung aufgrund vermuteter marginaler Effekte bislang nicht berücksichtigt (s. Abschnitt 10.5.1.3). Mit der nachfolgend beschriebenen ausgekoppelten Modellbetrachtung wird versucht, die Wirkmächtigkeit dieses Effektes hinsichtlich der vorgenommenen Kostenbilanz überschlägig einzuschätzen.

Hierzu wird ein Dezentralisierungsbild herangezogen, das zur Veranschaulichung des betrachteten Effektes besonders geeignet erscheint. Dies ist dann der Fall, wenn angenommen werden kann, dass der abzuschätzende Effekt besonders stark ausgeprägt auftritt. Plausible Überlegungen legen nahe, dass hiervon auszugehen ist, wenn größere Einheiten in großer Entfernung zur zentralen Kläranlage abgekoppelt werden. Dabei wird folgendes Denkschema zugrunde gelegt: Durch die Abkopplung größerer Einheiten mit einer größeren Anzahl von Schmutzwasserproduzenten geht die Abwassermenge in den in Fließrichtung nachfolgenden Leitungsabschnitten spürbar zurück. Der Rückgang der Schmutzwassermenge wird dabei proportional zum Rückgang der angeschlossenen Einwohnerwerte angenommen, der infolge der Abkopplung von Entsorgungseinheiten eintritt. In den von Auslastungsrückgang betroffenen Abschnitten werden bei entsprechender Unterauslastung zusätzliche Spülungen erforderlich. Je größer die Länge der betroffenen Leitungen, umso mehr Leitungsmeter müssen gespült werden und umso höher fällt damit der absolute Spülaufwand aus.

Die Überschlagsrechnung wird am Beispiel eines Ausschnitts der Best-case-Variante des Pfades „Kanalaufwand“ (s. Abbildung 12-11 in Abschnitt 12.3) durchgeführt, da hier die genannten Kriterien (großes zusammenhängendes Abkopplungsgebiet, große

Entfernung zur zentralen Kläranlage) am stärksten ausgeprägt auftreten. Der betrachtete Ausschnitt erstreckt sich über ein zusammenhängendes, am südlichen Rand des Entsorgungsgebietes gelegenes, potenzielles Abkoppelungsgebiet (in Abbildung 13-1 durch die dunkle Einfärbung hervorgehoben) sowie über die in der Abbildung etwas heller hervorgehobenen „betroffenen am Netz verbleibenden Entsorgungseinheiten“.

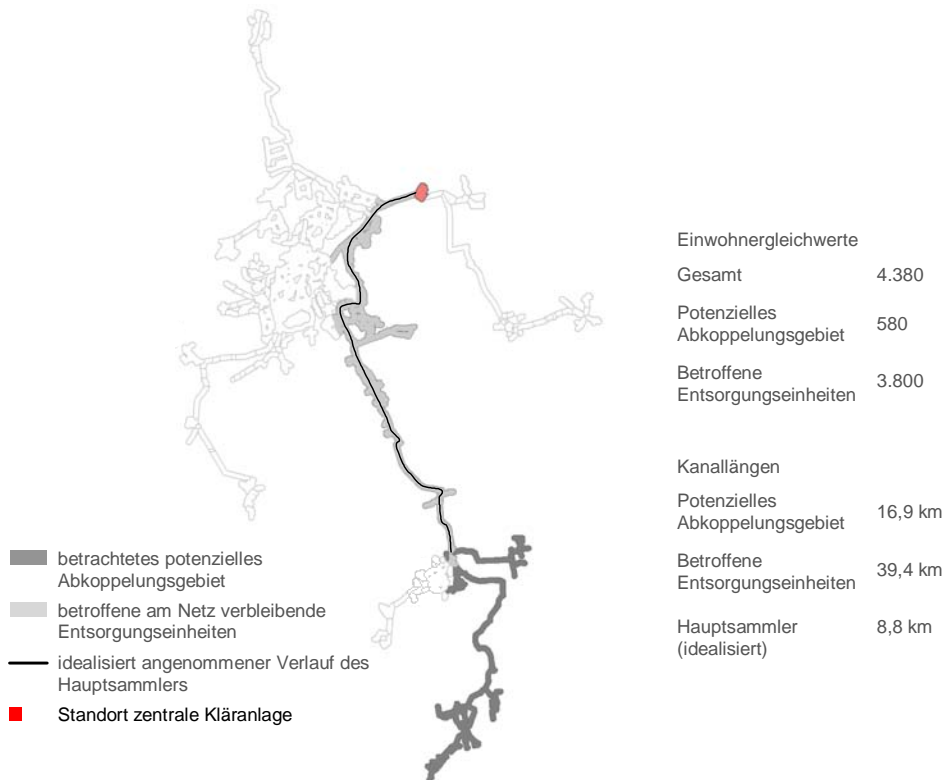


Abbildung 13-1: Mengengerüst der Modellbetrachtung „Unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten im verbleibenden Netz“

In dem betrachteten Ausschnitt liegen zum Bilanzierungszeitpunkt ca. 4.380 Einwohnergleichwerte an. Davon entfallen 13,2 % auf die Abkoppelungsgebiete und 86,8 % auf die hydraulisch betroffenen, am Netz verbleibenden Einheiten. In den hydraulisch betroffenen Gebieten sinkt entsprechend der zugrunde liegenden Annahmen die Auslastung entsprechend des Anteils der abgekoppelten Einwohnergleichwerte um 13,2 %. In Anlehnung an Siedentop et al. (2006, 147) können hieraus unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten durch einen prozentualen Aufschlag auf die jährli-

chen Betriebskosten in Höhe von 6 % geschätzt werden<sup>94</sup>. Bei spezifischen Jahresbetriebskosten von 3,48 €/a und Meter<sup>95</sup> ergeben sich jährliche unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten von 0,209 € je Meter zu spülendem Kanal.

Es stellt sich die Frage, welche Leitungsabschnitte der nachfolgenden Entsorgungseinheiten hiermit zu belasten sind. Innerhalb der Einheiten verzweigt sich das Netz kleinteilig. Insgesamt sind in den Einheiten 39,4 km Kanal verlegt. Transferfunktion übernimmt aber nur ein Teil dieser Kanäle. Idealisiert kann die Strecke dieser Hauptsammler mit der kürzesten Verbindung zwischen Abkopplungsgebiet und zentraler Behandlungsanlage abgebildet werden. Diese erstreckt sich im betrachteten Ausschnitt über eine Länge von ca. 8,8 km. Multipliziert mit den spezifischen jährlichen unterauslastungsbedingten Kanalbetriebskosten errechnen sich unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten von insgesamt 1.840 €/Jahr.

Im best-case-Fall des Pfades Kanalaufwand, aus dem der hier betrachtete Ausschnitt entnommen ist, käme es bei Berücksichtigung unterauslastungsbedingter Kanalbetriebskosten im verbleibenden Netz also zu einer Verringerung der berechneten Einsparpotenziale und voraussichtlich auch zu einer Verringerung der maximalen Dezentralisierungstiefe. Ein deutlicher positiver Kostenentlastungseffekt würde dennoch erhalten bleiben. Nach augenscheinlicher Einschätzung auf Grundlage des in Abbildung 12-11, Abschnitt 12.3 abgebildeten Dezentralisierungszustandes des maximal erreichbaren Dezentralisierungsgrades, unter best-case-Annahmen im Pfad Kanalaufwand, liegen die unterauslastungsbedingten Kanalbetriebskosten im Gesamtentsorgungsgebiet in diesem Zustand beim höchstens etwa zweifachen Wert der oberen Beispielrechnung<sup>96</sup>. Somit liegen die zu berücksichtigenden unterauslastungsbedingten Kanalbetriebskosten unter den getroffenen Annahmen in der Größenordnung von unter 4.000 €/Jahr. Dieser Betrag liegt deutlich unter den in diesem Pfad maximal erreichbaren Kostenentlastungspotenzialen, die mit rund 57.000 €/Jahr angegeben werden.

Je weniger Einwohner abgekoppelt werden bzw. je kleiner das Verhältnis zwischen „abgekoppelten Einwohnern“ zu „verbleibenden Einwohnern“ ist, umso gestreuter dies erfolgt und umso kürzer die betroffene nachfolgende Kanallänge, umso weniger kommt der Effekt unterauslastungsbedingter Kanalbetriebskosten im verbleibenden Netz zum Tragen. Unter Beachtung der Größenordnungen der hier angestellten Mo-

---

<sup>94</sup> Ermittelt durch Interpolation der zwischen den beiden in Tabelle 10-6, Abschnitt 10.5.2.3 angegebenen prozentualen Aufschläge auf die jährlichen Betriebskosten bei Bevölkerungsrückgang um minus 10 % und minus 20 %.

<sup>95</sup> 60 % der laufenden Kanalkosten aus Tabelle 10-5, Abschnitt 10.5.2.2 entfallen auf Betriebskosten.

<sup>96</sup> Insgesamt wird in der zugrunde liegenden „best-case“-Variante etwa nochmal so viel Fläche wie in dem betrachteten Ausschnitt abgekoppelt. Die Flächen erstrecken sich über ähnlich strukturierte Gebiete, sodass von insgesamt vergleichbaren Anschlussdichten ausgegangen werden kann.

dellbetrachtung ist davon auszugehen, dass sich auch bei Berücksichtigung unterauslastungsbedingter Kanalbetriebskosten im verbleibenden Netz unter Referenzbedingungen in allen drei betrachteten Pfaden positive Entlastungseffekte einstellen. In allen drei Pfaden findet die Dezentralisierung deutlich disperser und zum Teil deutlich näher zur zentralen Anlage gelegen statt, als es in dieser ausgelagerten Modellbetrachtung angenommen wird. In der Tendenz werden die berechneten Einsparpotenziale und maximalen Dezentralisierungsgrade bei Berücksichtigung der auslastungsbedingten Zusatzkosten jedoch geringer ausfallen.

### **13.1.6 Kosteneffekte im Bereich der zentralen Behandlungsanlage**

Bei der Erstellung der Kostenbilanzen in den Modellrechnungen werden Kosten des Ausbaus des dezentralen Systems sowie Folgekosteneffekte aus der Anpassung des zentralen Kanal-Systems betrachtet. Auswirkungen im Bereich der zentralen Behandlungsanlage finden keine Berücksichtigung, obgleich auch hier Kosteneffekte durch Auslastungsrückgänge entstehen.

Hierbei handelt es sich um gegenläufige Kosteneffekte. Es kommt zu Kostenentlastungen, beispielsweise aufgrund eingesparter Energiekosten, aber auch zu zusätzlichen Aufwendungen z. B. aufgrund eines erhöhten Steuerungsaufwandes (s. Ausführungen zu Beginn von Abschnitt 7). Welcher der gegenläufigen Effekte sich in der Bilanz durchsetzt, kann nicht pauschal beantwortet werden und bedarf weitergehender Analysen. Dies kann in nachfolgenden Planungsschritten aufbauend auf Erkenntnissen des hier angewendeten Verfahrens erfolgen, unter Beachtung der dabei aufzeigbaren Dezentralisierungszustände und sich ergebender Mengeneffekte. Eine direkte Einbeziehung des Aspekts in das hier entwickelte Verfahren mit seinem an der regionalmaßstäblichen Ebene orientierten hohen Abstraktionsgrad scheint aufgrund vermuteter insgesamt vergleichsweise geringer Gesamtkosteneffekte nicht sinnvoll.

### **13.1.7 Bilanzierungszeitpunkt und Baualter**

Das Baualter der Kanäle wird ausgehend von der erhobenen Altersstruktur im Ausgangszustand bis zum Bewertungszeitpunkt fortgeschrieben. Unter Ansatz der hieraus resultierenden Altersstruktur werden unter Anwendung des Bewertungsverfahrens zeitpunktbezogene Dezentralisierungszustände ermittelt und entsprechende Kosteneffekte berechnet. Die Rangfolge der dabei entworfenen Dezentralisierungspfade und damit die unter Kostengesichtspunkten zu favorisierende räumliche Dezentralisierungsstruktur wird in hohem Maße von der anliegenden Baualtersstruktur des Netzes bestimmt, denn hiervon hängt ab, ob Einspareffekte durch die Vermeidung von Ersatzinvestitionen realisiert werden können. Würde die Bewertung zu einem anderen Zeitpunkt vorgenommen werden, ergäben sich andere Bilder und möglicherweise andere Rangfolgen. Dies soll mit nachfolgender Rechnung verdeutlicht werden.

Wird beispielsweise unterstellt, dass das gesamte Kanalnetz des Untersuchungsgebietes am Ende der Nutzungsdauer angelangt ist und zur Erneuerung ansteht, können in allen Entsorgungseinheiten im Falle einer Dezentralisierung und Abkopplung vermiedene Ersatzinvestitionen berücksichtigt werden. In diesem theoretischen Fall kommen die netzaltersbedingt sehr unterschiedlichen Einsparpotenziale zwischen den Entsorgungseinheiten, wie sie in der in Kapitel 12 vorgenommenen Kostenrechnung bezogen auf den Bilanzierungszeitpunkt  $T_{30}$  auftreten, nicht mehr zum Tragen. Entscheidend ist dann allein das physische Mengengerüst der anliegenden Kanäle und erforderlichen dezentralen Anlagen. Es ist also zu erwarten, dass die Kostenvorteile der Pfade „Baualter“ und „LEP“, die in hohem Maß auf vermiedene Ersatzinvestitionen zurückzuführen sind, gegenüber dem Pfad Kanalaufwand schwinden bzw. sich bei Beibehaltung der Dezentralisierungsabfolgen ins Gegenteil kehren.

Wie Abbildung 13-2 zeigt, stellen sich die erwarteten Ergebnisse in der vorgenommenen Modellrechnung entsprechend ein. Wird für das gesamte Kanalnetz angenommen, dass das Ende der Nutzungszeit erreicht ist („altes Netz“) und Ersatzinvestitionen im Gesamtnetz anstehen, steigen das berechnete Einsparpotenzial und der maximale Dezentralisierungsgrad deutlich an. Im Pfad „LEP“ kommt es gegenüber dem Referenzzustand nahezu zu einer Verdopplung des maximalen Kosteneinsparpotenzials. Deutlich stärker steigt das maximale Kosteneinsparpotenzial unter den Annahmen „altes Netz“ im Pfad Kanalaufwand. Es erreicht einen Wert, der um Faktor 4 über dem maximalen Kosteneinsparpotenzial liegt, dass unter Referenzbedingungen im Pfad „LEP“ erreicht wird. Der maximale positive Dezentralisierungsgrad wird hier erst erreicht, wenn über 55 % der abgegrenzten Erschließungsflächen vom Netz genommen sind. Abgekoppelt werden hier die Einheiten mit dem höchsten spezifischen Kanalaufwand je angeschlossenen Einwohnergleichwert. Diese Einheiten befinden sich in den vom Hauptort sternförmig abgehenden Strängen (Abbildung 13-3). Hier liegen gegenüber den Siedlungsflächen im Hauptort vergleichsweise geringe bauliche Dichten an. Überwiegend sind Ortslagen mit dörflicher Bebauung betroffen. Deutlich niedriger fällt daher der einwohnerbezogene maximale Dezentralisierungsgrad aus. Dieser liegt bei 26 %. In dem dargestellten Dezentralisierungszustand werden also rund 1/4 der Einwohner vom Kanalnetz genommen und an dezentrale Systeme angeschlossen.

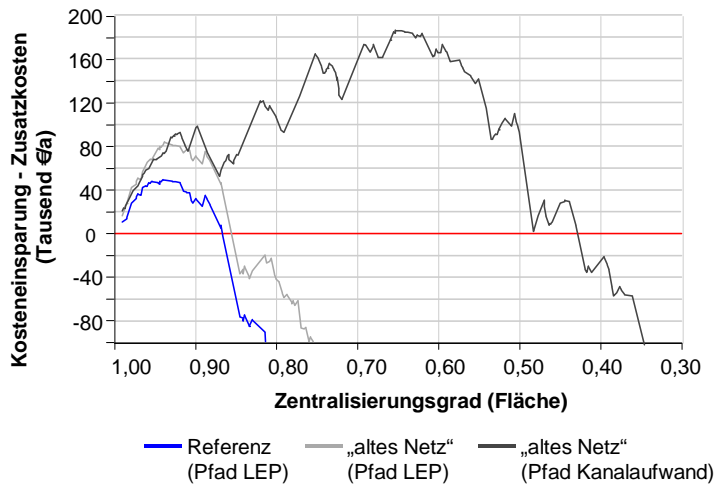


Abbildung 13-2: Kostenbilanz der Vergleichsrechnung unter der Modellannahme „altes Netz“

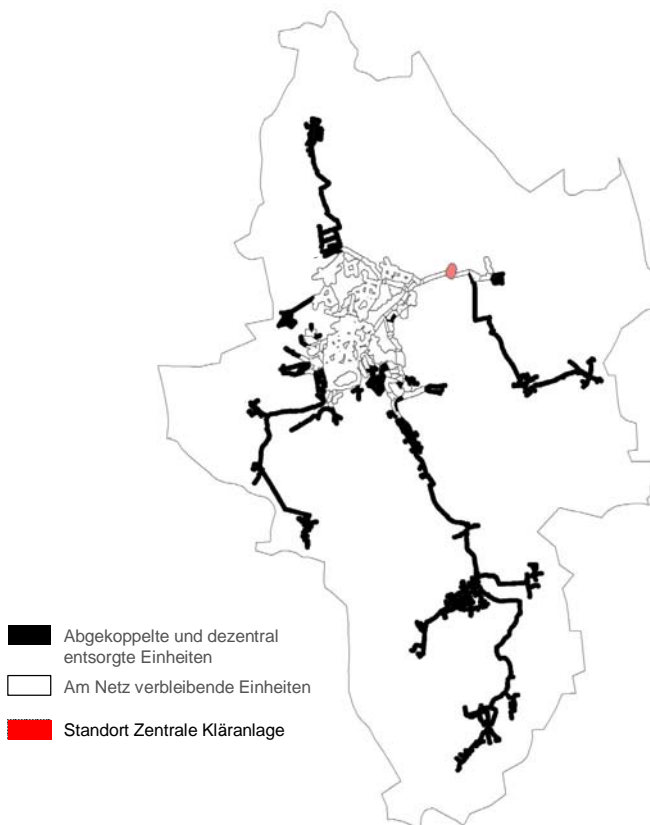


Abbildung 13-3: Dezentralisierungsbild im Zustand „maximal positiver Dezentralisierungsgrad“ des Pfades „Kanalaufwand“ unter der Annahme „altes Netz“

Auch dieses Bild ist vor dem Hintergrund der getroffenen Annahmen und Modellvereinfachungen zu relativieren. Bei den hier dargestellten erheblichen Eingriffen in die vorhandene zentrale Struktur kommen Auswirkungen der vorgenommenen Einschränkungen in besonderer Weise zum Tragen. Dies betrifft insbesondere den oben erwähnten Punkt der betriebsbedingten Zusatzaufwendungen im verbleibenden Netz, in Grenzen auch die Nichtberücksichtigung des Bereichs der Niederschlagswasserentwässerung, da auch Gebiete mit Mischentwässerung tangiert werden. Ungeachtet dessen lassen die Ergebnisse dieser weiteren Modellbetrachtung, der die Annahme eines „alten Netzes“ zugrunde liegt, weitere Interpretationen im Hinblick der Gestaltung mittel- und langfristig orientierter Umbaustراتيجien zu, die zu sehr unterschiedlichen Dezentralisierungszuständen führen können (s. hierzu Ausführungen in Abschnitt 14.1)

### 13.1.8 Kosteneinsparpotenzial bezogen auf die Gesamtkosten

Unter Referenzannahmen liegen die in den Modellrechnungen ermittelten maximalen Jahres-Einsparpotenziale zwischen 14 und 50 Tausend Euro, jeweils bezogen auf das Gesamtgebiet. Durch Variation der Eingangsparameter können jährliche Einsparungen in Höhe von bis zu 180 Tausend Euro berechnet werden („best case“-Fall) (s. Modellrechnungen in Kapitel 12). Das höchste in den Modellbetrachtungen berechnete Potenzial ergibt sich mit 187 Tausend Euro/Jahr unter der Annahme „altes Netz“ und Referenzannahmen der übrigen Parameter (vorangehender Abschnitt). Um diese Zahlen besser einordnen zu können, wird nachfolgend eine Schätzung unternommen, in welchem Verhältnis diese berechneten Kosten zu den Kosten der Bereitstellung des gesamten Anlagenbestandes im betrachteten Entsorgungsgebiet stehen.

Das erhobene Kanalnetz zur Ableitung von Schmutzwasser erstreckt sich im Gesamtentsorgungsgebiet über eine Länge von 158 km. Unter Referenzbedingungen<sup>97</sup> errechnen sich für die Bereitstellung der Kanalisation Jahreskosten in Höhe von 2,75 Mio. Euro pro Jahr. Eine überschlägige Schätzung der Behandlungskosten in der zentralen Anlage auf Grundlage pauschaler Kostenkennwerte für spezifische Gesamtkosten, differenziert nach Anlagengröße (Imhoff 2007, 102)<sup>98</sup>, ergibt Jahreskosten der Behandlung in Höhe von 1,86 Mio. €<sup>99</sup>.

Bezogen auf die geschätzten Jahreskosten zur Bereitstellung der Kanalisation liegen die berechneten Einsparungen der Dezentralisierungspfade unter Referenzbedingungen bei Anteilen von 0,5 % bis 1,8 %. Werden die berechneten „best-case“-Werte den

<sup>97</sup> Jährliche Kapitalkosten je m Kanal: 11,6 €, laufende Kosten: 5,8 € (s. Abschnitt 10.5.2).

<sup>98</sup> Bei Kenntnis der Ausbaugröße der Behandlungsanlage ist eine grobe Schätzung der Kosten der Abwasserreinigung möglich. Hierzu liegen entsprechende aktuelle Kennzahlen z. B. aus Imhoff (2007, 102) vor.

<sup>99</sup> Ansatz von Gesamtjahreskosten in Höhe von 68,8 €/EW\*a (Imhoff 2007: 102) bei einer Ausbaugröße der Anlage von 27 T EW (s. Abschnitt 7.2).

Kanalkosten gegenüber gestellt, beträgt das Verhältnis 6,5 %<sup>100</sup>. Die berechneten maximalen Einsparungen für den Fall „altes Netz“ erreichen eine Höhe von 6,8 % der Kanal-Jahresbereitstellungskosten. Bezogen auf Gesamtkosten einschließlich der Behandlungskosten verringern sich die prozentualen Anteile entsprechend (Tabelle 13-1).

*Tabelle 13-1: Gegenüberstellung der berechneten maximalen Kosteneinsparpotenziale und geschätzten Gesamtkosten für die Bereitstellung der zentralen Anlagen*

| Variante                                  | Berechnete maximale Einsparpotenziale | Geschätzte Gesamtkosten Bestand                        | Anteil der berechneten Einsparungen, bezogen auf Gesamtkosten |            |
|---|---------------------------------------|--|---|------------|
|   | (Tausend €/a)                         | (Mio. €/a)   | Kanal (%)   | Gesamt (%) |
| Pfad Kanalaufwand, Referenz               | 14                                    | Kanalisation: 2,75<br>Behandlung: 1,86<br>Gesamt: 4,61 | 0,5   | 0,3        |
| Pfad Baualter, Referenz                   | 36                                    |  | 1,3   | 0,8        |
| Pfad LEP, Referenz                        | 50                                    |  | 1,8   | 1,1        |
| Pfad LEP, best-case                       | 180                                   |  | 6,5   | 3,9        |
| Pfad Kanalaufwand, "altes Netz", Referenz | 187                                   |  | 6,8   | 4,1        |

In den Modellrechnungen werden Bevölkerungsverluste in Höhe von 10 % bis 30 % unterstellt. Unter sonst gleich bleibenden Bedingungen resultiert hieraus ein einwohnerspezifischer Kostenanstieg in Höhe von 11 % bzw. 43 %. Die ermittelten Anteile der durch Dezentralisierung erreichbaren potenziellen Einsparungen liegen deutlich unter diesen spezifischen Kostensteigerungsraten. Der spezifische schrumpfungsbedingte Kostenanstieg kann demnach mit den Maßnahmen der Dezentralisierung zwar abgeschwächt, jedoch nicht aufgefangen werden.

## 13.2 Eignung des Bewertungsverfahrens

Ein wesentliches Ziel dieser Arbeit ist es, ein Bewertungsverfahren zu entwickeln, das eine Kostenbewertung der Transformation technischer Systeme der zentralen Abwasserentsorgung hin zu stärker dezentral angelegten Strukturen ermöglicht. Inwieweit das entwickelte Verfahren diesem Anspruch genügt und welche Aussagen damit möglich werden, wird nachfolgend erörtert.

In Abschnitt 1.4.2 f. werden aus der Zielstellung der Arbeit drei zentrale Aufgabenbereiche herausgearbeitet, die mit dem Bewertungsverfahren zu erfüllen sind: die Abbildungsaufgabe, die Entwurfsaufgabe sowie die Bewertungsaufgabe. Diese Struktur wird hier wieder aufgegriffen und der nachfolgenden Erörterung zugrunde gelegt.

<sup>100</sup> Hier ist zu beachten, dass der überschlägigen Berechnung der Kanalkosten Referenzbedingungen zugrundeliegen, die von den „best-case“-Bedingungen abweichen.



### 13.2.1 Abbildungsaufgabe

Um die Grundlage für die zu leistende Bewertung zu schaffen, ist zunächst der Untersuchungsgegenstand abzubilden. Hierzu bedient sich das Verfahren dreier Teilmodule: dem Siedlungsmodell, dem Infrastrukturmodell sowie dem Schlauchmodell<sup>101</sup>.

Zwei räumliche Bezugsebenen bestimmen wesentlich die Konzeption und Ausgestaltung der drei Abbildungsmodule. Bilanzraum und Aussageebene ist das Entsorgungsgebiet. Dieses erstreckt sich oftmals über mehrere Gemeinden. Damit liegt der Abbildungsraum auf regionalmaßstäblicher bzw. übergemeindlicher Ebene. Bauliche Dichten und Einwohnerdichten können in Teilgebieten des Betrachtungsgebietes erheblich differieren. Auch die Entwicklungsdynamik differenziert sich kleinräumig zum Teil sehr unterschiedlich aus. Damit wird sich auch der Erschließungsaufwand zwischen Teilräumen unterscheiden. Hieraus erwächst die Forderung nach Kleinräumigkeit. Die Transformation eines gesamten zentralen Systems kann nur schrittweise erfolgen. Auch hieraus erwächst die Notwendigkeit der Teilraumbildung, um dies adäquat abbilden zu können.

Die zentrale Herausforderung an das Abbildungsmodell ist bei anvisierter regionaler Aussageebene, kleinräumige Bezüge zwischen Siedlungseinheiten und Netzabschnitten zu berücksichtigen. Den damit verbundenen Schwierigkeiten, die auf fehlende siedlungsstrukturelle Daten unterhalb der Gemeindeebene sowie auf fehlende Bezüge zwischen Liniendaten der Leitungen und Flächendaten der Siedlungseinheiten zurückzuführen sind, wird durch die entsprechende Ausgestaltung der Abbildungsmodule begegnet (s. nachfolgende Abschnitte).

#### 13.2.1.1 Siedlungsmodell

Bei der Abbildung des Siedlungsmodells wird auf weit vorangeschrittene Erkenntnisse und Methoden aus der Stadtforschung zurückgegriffen. Angewendet wird das unter dem Stichwort "Stadtstrukturtypenansatz" entwickelte Verfahren, das aus raumbezogenen Geodaten aufgrund physiognomischer Erscheinungsformen Rückschlüsse auf Nutzungsausprägungen zulässt (s. Abschnitt 6.1). Als Raumbasiseinheit dient das Einzelgebäude. Dies bietet große Freiheitsgrade in der Abgrenzung kleinräumiger Entsorgungseinheiten und ermöglicht so eine an abwassertechnischen Sachzusammenhängen orientierte Zuordnung von Leitungsstrang und Einzelgebäude<sup>102</sup>.

Zur Erfassung der kleinräumigen Gebäudestruktur aus Flächendaten topografischer Karten wird das Analysewerkzeug „SEMENTA“ eingesetzt, das zur automatischen

---

<sup>101</sup> „Schlauchmodell“ wurde in der Entwicklungsphase mit dem Arbeitstitel „Bezugsmodell“ benannt.

<sup>102</sup> Damit weicht der Ansatz von vorliegenden Studien ab, die eine Schätzung von Infrastrukturaufwand auf kleinräumiger Ebene unter Nutzung des Stadtstrukturtypenansatzes vornehmen und hierbei die Basiseinheit „Baublock“ verwenden (s. Abschnitt 6.1).

Ableitung siedlungsstruktureller Grunddaten entwickelt wurde und als Prototyp vorliegt. Dieses Werkzeug ermöglicht die Extraktion von Gebäudegrundflächen aus als Rasterdaten vorliegenden digitalen topografischen Karten und deren Überführung in Einzelpolygone. Auf dieser Grundlage können GIS-Analysen nachfolgender Modellierungsschritte aufbauen. Durch die Nutzung der angebotenen Automatisierungsmodule zur Polygonabgrenzung und Zuordnung der Flächen zu einer Gebäudetypologie wird der Weg für einen großflächigen Einsatz des hier verwendeten Verfahrens geebnet.

Bei der Anwendung des genannten Analysetools ist jedoch das Problem zu bewältigen, dass die darin implementierten Mustererkennungsalgorithmen sowie die angebotenen Nachfrageparameter zur Schätzung von Wohnungs- und Einwohnerverteilung im großstädtischen Entwicklungshintergrund formuliert sind und es bei der Anwendung des Tools auf ländlich geprägte Strukturen zu Fehleinschätzungen kommt. Dies betrifft insbesondere fehlerhafte Zuordnungen extrahierter Gebäudegrundflächen zur vorgehaltenen Gebäudetypologie sowie die fehlende Passfähigkeit der angebotenen grundflächenbezogenen Dichteparameter<sup>103</sup>. Zudem werden im hier entwickelten Bewertungsverfahren Parameter zur Beschreibung der Gebäudeverteilung und -belegung benötigt, die in SEMENTA nicht vorgehalten werden. Das Problem der Fehlzurordnung von Gebäudegrundflächen zur verwendeten Gebäudetypologie ist durch manuelle Nachkartierung in den Griff zu bekommen (s. Abschnitt 6.2). Es treten vor allem systematisch wiederkehrende Fehleinschätzungen auf, die mit vertretbarem Aufwand unter Nutzung weiterer Angaben aus Luftbildern und Begehungen behoben werden können. Das Verfahren wird dadurch nicht in Frage gestellt. Die deutliche Arbeitserleichterung durch die automatisierte Polygonerzeugung zur Abbildung von Gebäudegrundflächen und durch die weitgehende Passfähigkeit der Attributierung im städtischen Kontext bleibt bestehen. Der ungenügenden Passfähigkeit der Dichtekennziffern in ländlich/dörflichen Gebieten wird durch die Verwendung des entwickelten in sich konsistenten Nachfrageparameter-Schätzverfahrens begegnet. Die Konsistenz zwischen den verwendeten Parametern wird erreicht, indem eine Regionalisierung der Wohnungsgrundflächendichte über begründbare physische Zusammenhänge vorgenommen wird, und basierend darauf die Schätzung der Einwohner- und Gebäudeverteilung im kleinräumig abgebildeten Wohnungsbestand erfolgt, unter Verwendung plausibler Belegungskennziffern und charakteristischer Ausprägungen von typenbezogenen Gebäudestrukturmerkmalen. Die Konsistenz zwischen Modell und Realdaten wird durch einen Realitätsabgleich hergestellt. Dabei erfolgen Anpassungen der geschätzten Werte entsprechend der auf Gemeindeebene ermittelten Abweichungen zwischen hochgerechneten Modellausprägungen und auf dieser Raumebene verfügbaren Realdaten.

---

<sup>103</sup> Wohnungsgrundflächendichte sowie Einwohnergrundflächendichte.

Insgesamt gewinnt das Verfahren durch die erforderlichen regionalen Anpassungen des verwendeten Analysetools an Komplexität. Durch die klare Formulierung einer logischen Abfolge konsistent aufeinander aufbauender Modellierungsschritte bleibt das Verfahren dennoch beherrschbar. Ein wichtiger Aspekt stellt die Transparenz der getroffenen Annahmen bezüglich der Dichte und Belegungsparameter dar. Die Benennung dieser Annahmen ermöglicht erstens eine kritische Reflexion des Ansatzes und zweitens eine Anpassung der Annahmen bei Verfügbarkeit von Daten höherer Güte. Ein zu beachtender Aspekt ist die Aktualität der verfügbaren Geodaten. Das in dieser Arbeit verwendete Kartenmaterial wurde in den Jahren 1996/1997 erstellt. Damit liegen vergleichsweise aktuelle Daten zum derzeitigen Siedlungsgefüge vor. Dennoch ist zu beachten, dass bauliche Veränderungen der vergangenen Dekade keine Berücksichtigung finden. Obgleich einzelne Verschiebungen in den modellierten Pfadabfolgen bei Vorliegen aktuellerer Daten nicht auszuschließen sind, ist aufgrund der vergleichsweise moderaten Dynamik der Bautätigkeit in den vergangenen Jahren (s. Abschnitt 11.3) davon auszugehen, dass die auf Grundlage der Modellbetrachtungen getroffenen Aussagen davon nicht berührt werden. Es versteht sich aber von selbst, dass die Verwendung möglichst aktueller Kartengrundlagen anzustreben ist, um entsprechende Abbildungsfehler zu minimieren.

#### 13.2.1.2 Infrastrukturmodell

Die Beschreibung des Leitungsnetzes basiert auf realen Netzdaten des Entsorgungsunternehmens. Die verwendeten Daten liegen in unterschiedlicher Qualität vor, Liniendaten des Kanalverlaufs digital als Geodaten, weitere relevante Sachdaten wie Baualter und Nenndurchmesser der Kanäle, Fließrichtung in den Kanälen und Schachtdanzahl aber ohne Verknüpfung zum Datenmodell der Geodaten. Damit entziehen sich letztgenannte Daten aufgrund des unverhältnismäßig hohen Aufbereitungsaufwandes einer direkten Nutzung. Abhilfe wird geschaffen, indem Ausprägungen dieser Merkmale unter Nutzung weiterer Quellen plausibel angenommen werden. So beruht die Einschätzung der Baualtersstruktur der Kanäle auf Angaben zum vorherrschenden Kanalbaualter auf Ortsteilebene, in den Hauptorten z. T. auf straßenzugbezogenen Angaben. Setzungen für anliegende Kanalnennweiten, die Fließrichtung in den Kanälen sowie die Schachtdanzahl wurden durch Ansatz üblicher Planungsgrößen und Annahmen unter Beachtung des Leitungsverlaufs getroffen. Damit sind alle Merkmale, die maßgeblich in die Kostenberechnung eingehen<sup>104</sup>, in sehr guter bis zufriedenstellender Annäherung abgebildet. Die ergänzenden, für die Modellentwicklung relevanten Merkmale sind plausibel beschrieben. Die Datenqualität ist somit ausreichend, um die Verfahrensentwicklung zu ermöglichen, entsprechende Berechnungen vorzunehmen und interpretierbare Ergebnisse zu generieren.

---

<sup>104</sup> Leitungsverlauf und hieraus hervorgehende Kanallänge sowie das Kanalbaualter

Derzeit befinden sich insbesondere die ostdeutschen Entsorgungsunternehmen noch in einer Umbruchphase, was die Aufbereitung und Digitalisierung alter Datenbestände betrifft. Analog dokumentierte Altbestände werden zunehmend in digitale Datensätze transformiert, Abschnitte, in denen Erhaltungsaufwendungen durchgeführt werden, liegen umfassend dokumentiert als Sach- und Geodaten vor. Hier liegen erhebliche Vereinfachungspotenziale für zukünftige Anwendungen des Verfahrens aufgrund der zu erwartenden Steigerung der Qualität nutzbarer Netzbestandsdaten.

Das im Infrastrukturmodell aufgestellte Mengengerüst zur Abbildung von dezentralen Anlagen, die im Rahmen der Dezentralisierung zentrale Entsorgungsabschnitte ersetzen, orientiert sich an der Maßgabe größtmöglicher Freiheitsgrade für die kleinräumige Simulierung von Dezentralisierungsabfolgen. Basis-Raumebene bildet die Parzelle bzw. das Einzelgebäude. Kennzahlen des Mengengerüsts werden für Hauskläranlagen unterschiedlicher Größenklassen gebildet, die kompatibel zu den im Siedlungsmodell verwendeten Gebäudetypen sind. Die Bildung größerer semizentraler Einheiten, z. B. durch Gruppierung von Nachbarschaften zu Entsorgungsgemeinschaften, wird in den Modellrechnungen zwar nicht berücksichtigt, kann aber in nachfolgenden Planungsschritten aus den gewonnenen Erkenntnissen entwickelt werden.

### 13.2.1.3 Schlauchmodell

Im Modul Schlauchmodell erfolgt die Abgrenzung des Einzugsbereichs des zentralen Systems, die Bildung kleinräumiger Entsorgungseinheiten und auf dieser Ebene die Verknüpfung von Siedlungseinheiten und Kanalnetz. Vorliegende Studien, die auf ähnlicher Abstraktionsstufe unter Verwendung des Strukturtypenansatzes diesen Bezug herstellen, nähern sich dem Problem meist aus einer hochbauorientierten Siedlungsplanungsperspektive. Dies schlägt sich in den verwendeten Modellansätzen nieder. So wird versucht, Kanalabschnitte unter Beachtung räumlicher Überlagerungen mit nach hochbaulichen Kriterien abgegrenzten Baublöcken mit diesen zu verschneiden und so eine Zuordnung vorzunehmen. Hierbei kommt es insbesondere bei kleinräumig abgegrenzten Siedlungseinheiten zum Teil zu erheblichen Unschärfen (s. Abschnitt 8.1.1). Mit der Entwicklung des Schlauchmodells wird ein Perspektivenwechsel vorgenommen. Der Blickwinkel des hochbauorientierten Siedlungsplaners wird durch die Sichtweise des Infrastrukturplaners ersetzt. Ausgehend vom fertigen Kanalnetz werden Planungsschritte des Entwässerungsentwurfs im rückwärts gewandten Verfahren nachvollzogen. Hierbei verwendete Entwurfskriterien werden in modellierbare Zuordnungskriterien übertragen. Mit dieser Vorgehensweise gelingt es, die unterschiedlichen planerischen „Darstellungswelten“ der Siedlungs- und Infrastrukturplanung, die in der Struktur der Datenhaltung ihren Niederschlag finden, problemadäquat zu verknüpfen. Die so beschriebene kleinräumige Entsorgungsstruktur berücksichtigt bestehende funktionale abwassertechnische Bezüge innerhalb der Teilräume zwischen Siedlungseinheiten und Kanalnetz sowie zwischen den Teilräumen, bezogen auf den

Gesamtnetzzusammenhang. Die Analysen werden durch Standard-GIS-Tools unterstützt. Sie lassen sich dadurch weitgehend automatisieren.

### 13.2.2 Entwurfsaufgabe

Anders als in „klassischen“ Bewertungssituationen der Abwasserwirtschaft, im Neuerschließungsfall, wo zu Beginn bereits festgelegt werden kann, welche Alternativen verglichen werden sollen, steht im vorliegenden Fall lediglich die Zielsetzung fest, das Abwassersystem zu dezentralisieren, solange Kostenvorteilhaftigkeit besteht. Die Aufgabe besteht nun darin, aus der Vielzahl denkbarer Zustände möglichst erfolgversprechende Dezentralisierungsvarianten herauszufiltern. Dabei sind funktionale Bezüge im vorhandenen und angestrebten System adäquat zu berücksichtigen. In der Sequenzanalyse wird dies in einem analytischen Entwurfsprozess umgesetzt. Die hypothesengeleitete Vorgehensweise ermöglicht die Ausrichtung denkbarer Dezentralisierungsabfolgen an Erfolgskriterien und leistet dadurch der Anforderung „erfolgversprechend“ genüge. Indem die Sequenzanalyse an den gebildeten Entsorgungseinheiten ansetzt, können mit der vorliegenden Kleinräumigkeit Abfolgen von Dezentralisierungsschritten gebildet werden sowie funktionale Abhängigkeiten innerhalb und zwischen den Entsorgungseinheiten Berücksichtigung finden. Die Übertragung der Kostenentlastungshypothesen in operable Kriterien zur Festlegung von Dezentralisierungsabfolgen ermöglicht einen analytischen Entwurfsprozess. Dadurch wird das Verfahren wiederholbar, nachvollziehbar und programmierbar<sup>105</sup>. Dies ermöglicht die Verarbeitung größerer Datenmengen, sodass das Verfahren auch für größere Entsorgungsgebiete beherrschbar bleibt.

### 13.2.3 Bewertungsaufgabe

Die Kostenbewertung erfolgt im Modul „Kostenmodell“ auf Grundlage von Jahreskosten. Bewertet werden Kostenveränderungen infolge des Umbaus (Dezentralisierung) des technischen Systems der zentralen öffentlichen Abwasserentsorgung. Es besteht der Anspruch, alle relevanten und signifikant auftretenden Kostenfolgen der Dezentralisierungsmaßnahmen zu berücksichtigen.

Die konsequente Verwendung der in der betriebswirtschaftlichen Kosten-/Leistungsrechnung eingeführten Begriffsabgrenzungen sowie die Ausnutzung des dort gegebenen Gestaltungsspielraumes ermöglicht eine Zusammenführung sehr unterschiedlicher Kostenarten (laufende Kosten, Kapitalkosten, einmalig auftretende Kosten, sunk costs) in zusammengefasste Bewertungsdimensionen. Die formulierten Bewertungskriterien fassen Ergebnisse der Kostenbilanzrechnungen in Kenngrößen mit unterschiedlichem Aussagegehalt zusammen.

---

<sup>105</sup> Die vorliegende Sequenzanalyse wurde mit Hilfe einer MS-Excel Anwendung, unterstützt durch Visual Basic Makroprogrammierung, umgesetzt.

Das maximale Kostenentlastungspotenzial gibt eine Orientierung über Größenordnungen möglicher Kosteneinsparpotenziale. Damit liegt ein Vorschlag zur Quantifizierung von Kosteneffekten der Dezentralisierung bestehender zentraler Abwassersysteme vor.

Der maximale positive Dezentalisierungsgrad hilft, Optionsräume für mögliche Anpassungen abzugrenzen und dort aus Kostengesichtspunkten die jeweilige Stoßrichtung weiterer Entwicklungen zu konkretisieren. Dabei ist Optionsraum durchaus auch im räumlichen Sinne zu verstehen. Durch die kartografische Darstellung von Dezentalisierungszuständen mit positiver Kostenbilanz können Gebiete mit prinzipiell unterschiedlichen Dezentalisierungspotenzialen und daraus erwachsenden Handlungsoptionen abgesteckt werden. Interessante Interpretationsmöglichkeiten ergeben sich bei Gegenüberstellung unterschiedlicher Dezentalisierungsbilder, die sich hinsichtlich der Eingangsparameter der zugrunde liegenden Annahmegerüste unterscheiden. Können beispielsweise in einem Pfadabschnitt selbst unter sehr restriktiven Annahmen positive Kosteneinsparpotenziale aufgezeigt werden, ist dies als deutlicher Hinweis zu werten, dass es sich hierbei aus Gesamtkostensicht um Dezentalisierungsgebiete mit hohem Handlungs- bzw. Transformationsbedarf handelt. Innerhalb von Pfadabschnitten, in denen sich selbst unter sehr optimistischen Annahmen bei Dezentralisierung eine Erhöhung der Gesamtkosten ergibt (negative Kosteneinsparpotenziale), verhält sich das anliegende zentrale Netz offensichtlich sehr robust gegenüber den simulierten Nachfrageveränderungen. Aus Kostensicht ist hier von einer Dezentralisierung abzuraten. Dazwischen liegt ein Bereich, innerhalb dessen die Kostenwirkungen möglicher Transformationen aufgrund bestehender Unsicherheiten der Eingangsparameter uneindeutig sind (Dissensbereich). Hier kann eine bessere Einschätzung erst nach weiterer Konkretisierung der Eingangsparameter ggf. in nachfolgenden Planungsschritten erfolgen. Die so beschreibbaren Optionsräume lassen sich aufgrund der mit dem Verfahren hergestellten Verknüpfung von Sach- und Geodaten kartografisch darstellen und so für die strategische Planungsdiskussion aufbereiten. Abbildung 13-4 verdeutlicht dies am Beispiel der in Abschnitt 12.3 entworfenen Extrembilder, die unter „best-case“- und „worst-case“-Bedingungen in Bezug auf das durch Dezentralisierung erreichbare Kosteneinsparpotenzial formuliert sind.

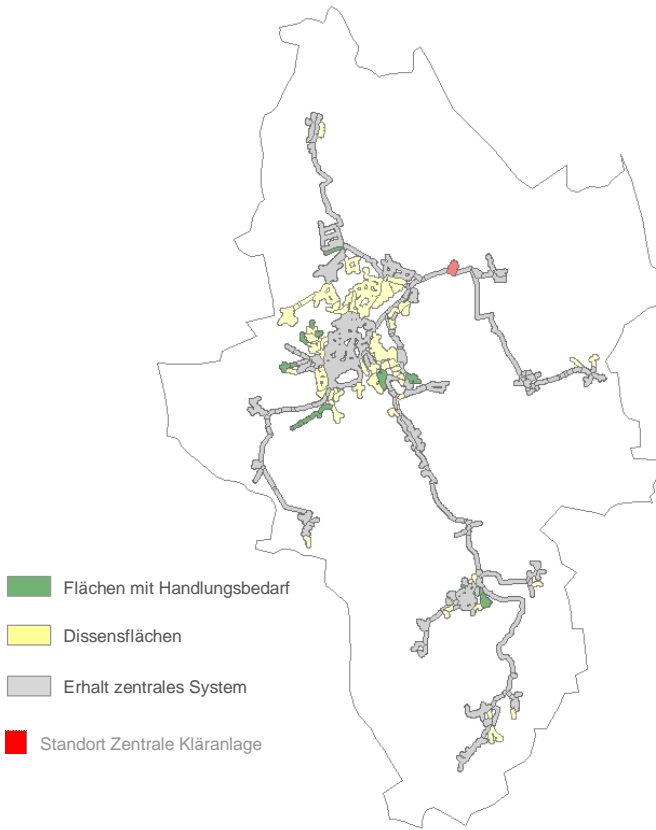


Abbildung 13-4: Aufzeigen von Optionsräumen durch Variation der Eingangsparameter – hier dargestellt am Beispiel des Pfades „LEP“ unter Beachtung der in Abschnitt 12.3 entwickelten Extrembilder

## 14 Ergebnisse und Fazit

Mit der vorliegenden Arbeit werden mögliche Kostenwirkungen der Dezentralisierung eines vorhandenen und funktionstüchtigen zentralen Abwasserentsorgungssystems auf der Ebene eines Entsorgungsgebietes quantifiziert. Dies erfolgt am Beispiel eines realen Untersuchungsgebietes. Bislang lagen keine geeigneten Verfahren zur Durchführung einer Kostenbewertung für diesen Bewertungsfall vor. Deshalb wurde im Rahmen dieser Arbeit ein geeignetes Kostenbewertungsverfahren entwickelt, um damit die aufgeworfene Forschungsfrage beantworten zu können.

Hauptergebnisse dieser Arbeit sind

- die Quantifizierung der Kostenwirkungen der Dezentralisierung eines bestehenden funktionstüchtigen Systems der zentralen Abwasserentsorgung in einem von Bevölkerungsverlusten betroffenen Entsorgungsgebiet,
- das Verfahren zur Schätzung von Kostenfolgen der Dezentralisierung bestehender funktionstüchtiger Systeme der zentralen Abwasserentsorgung,
- Hinweise darauf, inwieweit Modellbetrachtungen, wie sie in dieser Arbeit angestellt werden, für den strategischen Planungsprozess von Nutzen sein können.

Nachfolgend wird dies weiter untersetzt.

### 14.1 Quantifizierung

Anlass und Ausgangspunkt der Quantifizierung ist die Hypothese, dass im Falle rückläufiger Bevölkerungszahlen bei vorhandener zentraler Abwasserentsorgung Entsorgungskosten reduziert werden können, wenn es gelingt, in Teilgebieten mit überdurchschnittlich hohem zentralen Erschließungsaufwand, gemessen am Erschließungsaufwand des gesamten Entsorgungsgebietes, zu dezentralisieren. Mit den Ergebnissen der Modellrechnungen können Konstellationen formuliert werden, die das Zutreffen dieser Ausgangshypothese begünstigen. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn

- Entsorgungseinheiten einen überdurchschnittlich hohen Kanalaufwand aufweisen,
- innerhalb dieser Einheiten die Kanäle ein Alter erreicht haben, die Ersatzinvestitionen erforderlich machen und
- auf diese Kanäle im Falle einer Dezentralisierung der betroffenen Entsorgungseinheiten weitestgehend verzichtet werden kann, die Vernetzung mit dem verbleibenden zentralen System also gering ist.

Diese Konstellation ist im Untersuchungsgebiet die Ausnahme. In Entsorgungseinheiten mit überdurchschnittlichem Kanalaufwand liegen meist Kanäle an, die mittelfristig das Ende der vorgesehenen Nutzungsdauer nicht erreichen. Alte Kanäle finden sich dagegen überwiegend in zentraleren Lagen mit höherer Dichte, in denen die zentrale Struktur der dezentralen kostenmäßig überlegen ist.



Vereinzelte erreicht der spezifische laufende Aufwand des Kanalbetriebs lokal solche Ausmaße, dass bei Stilllegung dieser Kanäle positive Kostenentlastungspotenziale entstehen, auch wenn keine vermiedenen Ersatzinvestitionen wirksam werden. Diese Konstellation ist im Untersuchungsgebiet vereinzelte, vor allem an Netzen abgelegener dörflicher Ortslagen, anzutreffen. Das hieraus resultierende Einsparpotenzial ist vergleichsweise gering.

Sind alte Kanäle von der Stilllegung betroffen, die das Ende der vorgesehenen Nutzungsdauer erreicht haben, werden bei Stilllegung der Kanäle neben den entfallenden Kanalbetriebskosten auch Kapitalkostenentlastungen aus vermiedenen Ersatzinvestitionen wirksam. Der finanzielle Spielraum für den Ausbau dezentraler Strukturen erhöht sich dadurch deutlich. Diese Konstellation ist im Untersuchungsgebiet vor allem an Netzen in den Randgebieten der Siedlungskerne anzutreffen. Hier ist die Anschlussdichte<sup>106</sup> in der Tendenz höher als in Netzen abgelegener dörflicher Ortslagen. Zumindest mittelfristig scheint also ein Umbau des Systems entlang erschließungsineffizient<sup>107</sup> zentral erschlossener Gebiete, der an den abgelegenen Netzen in ländlichen Ortslagen ansetzt, weniger kosteneffizient zu sein als ein stärker am Baualter der Kanäle orientierter Umbau, der an den Siedlungskernen ansetzt. Dieser Vorteil verringert sich nur wenig, wenn der Einfluss anliegender Mischentsorgungssysteme mitbetrachtet wird, die in Kernsiedlungsgebieten verstärkt anzutreffen sind.

Die Höhe erreichbarer Kosteneinsparpotenziale hängt damit maßgeblich vom eingeschlagenen Dezentralisierungspfad ab. Dem Entwurf der Transformationspfade kommt demnach eine zentrale Bedeutung zu.

Weiter hängt das erreichbare Einsparpotenzial von den kostenrelevanten finanzmathematischen, demografischen und technischen Einflussfaktoren ab. Die Stärke und Richtung der Wirkung dieser Einzelfaktoren kann differieren, abhängig von der vorherrschenden Kostenstruktur in den von der Abkopplung betroffenen Entsorgungseinheiten und von deren räumlicher Verortung im Entsorgungsgebiet. Die Wirkungsweisen sind deshalb im Einzelfall zu überprüfen.

Dies trifft auch für den Einfluss der demografischen Dynamik auf das erreichbare Kosteneinsparpotenzial zu, der nur pfadbezogen benannt werden kann. Grundsätzlich steigt das erreichbare Kostenreduktionspotenzial mit zunehmendem Bevölkerungsrückgang an, da dadurch Skalenvorteile zentraler Strukturen schwinden und Kostenvorteile dezentraler Systeme bei geringen Erschließungsdichten zunehmend zur Geltung kommen. Entscheidend für den erreichbaren Kosteneffekt ist jedoch, wie die

---

<sup>106</sup> Dies ist aus Abbildung 9-3 ersichtlich, denn die Anschlussdichte entspricht dem reziproken Wert des Kanalaufwandes.

<sup>107</sup> Im Sinne hoher spezifischer Kanallängen.

Bevölkerungsdynamik kleinräumig zum Ausdruck kommt. Nur wenn sich der Bevölkerungsrückgang auf Einheiten konzentriert, die aus Kostengesichtspunkten für eine Dezentralisierung interessant sind, kann die Bevölkerungsdynamik ihre Wirkung auf die Kostenfolgen des Umbaus entfalten. Dies bedeutet, im Rückgriff auf die oben aufgeführten erfolgversprechenden Konstellationen, dass Chancen der Kostenreduktion durch Dezentralisierung steigen, wenn sich der Bevölkerungsrückgang auf Teilgebiete konzentriert, in denen der Kanalaufwand überdurchschnittlich hoch ist, alte Kanäle mit anstehendem Ersatzbedarf anliegen und diese ohne Beeinträchtigung des verbleibenden Netzes abgekoppelt werden können. Im vorliegenden Untersuchungsgebiet verläuft der Dezentralisierungspfad „LEP“, der insgesamt die höchsten Kostenentlastungspotenziale verspricht, dispers über das Entsorgungsgebiet verteilt. Bis zum Erreichen des maximalen positiven Dezentralisierungsgrades sind sowohl Entsorgungseinheiten am Rande der Siedlungskerne als auch Entsorgungseinheiten in peripher gelegenen Ortslagen von der Abkopplung betroffen. Re- und Suburbanisierungstendenzen wirken sich in Kerngebieten und peripheren Lagen gegensätzlich aus. Damit wirken sich Kosteneffekte dieser Bevölkerungsverschiebungen innerhalb des Untersuchungsgebietes nur marginal auf die Höhe des erreichbaren Kostenentlastungspotenzials aus.

Auch der Bewertungszeitpunkt beeinflusst das Ergebnis maßgeblich mit. So kann sich bei langfristiger Betrachtung gegenüber des „mittelfristigen“<sup>108</sup> Betrachtungshorizonts des Referenzfalles ein konträres Bild ergeben. Wenn es gelingt, in Gebieten mit vergleichsweise geringer Anschlussdichte langfristig Ersatzinvestitionen durch eine entsprechende Gestaltung der Erhaltungsstrategie soweit möglich hinauszuzögern, entsteht zunehmend Erneuerungsbedarf. Dies ist nach der hier verwendeten Logik gleichzusetzen mit einem steigenden finanziellen Anpassungsspielraum. Damit entstehen zunehmend Konstellationen, die den eingangs beschriebenen günstigen Dezentralisierungsbedingungen entsprechen (hoher spezifischer Kanalaufwand, hoher Ersatzbedarf, wenig vernetzt). Das erreichbare Kostenentlastungspotenzial steigt unter diesen Bedingungen deutlich an. Die kostengünstigeren Pfade verlaufen unter diesen Voraussetzungen in der Tendenz entlang des „Gefälles“ des Erschließungsaufwandes, bezogen auf die jeweiligen Netzen, ähnlich des aufgezeigten Verlaufs des Pfades „Kanal-aufwand“. Dies bedeutet nicht im Umkehrschluss, dass die Ausrichtung des Dezentralisierungspfades am Kriterium „Kanal-aufwand“ bei langfristiger Betrachtung zu kostengünstigeren Verläufen führt als die Ausrichtung am lokalen Kosteneinsparpotenzial (LEP). Entscheidend ist hier die Übereinstimmung von Bilanzierungszeitpunkt und Bezugszeitpunkt der Sequenzanalyse. Wird der Sequenzanalyse der langfristige Betrachtungshorizont zugrunde gelegt, unter Berücksichtigung der hier getroffenen Ext-

---

<sup>108</sup> Mit „mittelfristig“ wird hier der Referenz-Betrachtungshorizont von 30 Jahren bezeichnet. Langfristig ist im Gegensatz dazu ein deutlich weiter in der Zukunft liegender Zeitpunkt.

rem-Annahme eines vollständig gealterten Netzes, nähern sich die Verläufe der Pfade LEP und Kanalaufwand an. Die Ausprägungen des maximalen Kosteneinsparpotenzials sowie des maximalen positiven Dezentalisierungsgrades des Pfades „LEP“ werden im theoretischen Extremzustand (100 % Erhaltungsaufwand in allen Entsorgungseinheiten) Werte größer/gleich der Ausprägungen annehmen, die sich im Pfad „Kanalaufwand“ ergeben. Kleinere Abweichungen ergeben sich dadurch, dass der Aufwand des Ausbaus dezentraler Anlagen im Pfad „LEP“ explizit, im Pfad „Kanalaufwand“ dagegen nur implizit im Kriterium der Pfadausrichtung berücksichtigt ist (s. Abschnitt 9.2). Ist die Voraussetzung „Bilanzierungszeitpunkt gleich Bezugszeitpunkt“ in der Sequenzanalyse also gegeben, bleibt die Vorteilhaftigkeit des Pfades „LEP“ auch bei Variation des Betrachtungshorizontes erhalten.

Gemessen an den Bereitstellungskosten der im Referenzzustand vorhandenen zentralen Anlagen fallen die quantifizierbaren Einsparpotenziale unter angenommenen Referenzbedingungen vergleichsweise gering aus. Sie summieren sich auf weniger als 2 % der für das vorliegende Kanalnetz aufzubringenden Bereitstellungskosten (Kosten der Ableitung). Bezogen auf die Gesamtkosten der zentralen Abwasserentsorgung, die neben den Kosten der Ableitung zusätzlich die Kosten der Abwasserbehandlung in der zentralen Anlage umfassen, liegt das ermittelte Einsparpotenzial bei knapp über einem Prozent. Damit liegen die durch Dezentralisierung erreichbaren Kostenreduktionspotenziale deutlich unterhalb des spezifischen Kostenanstiegs, der mittelfristig aufgrund des Bevölkerungsrückganges von 20 % zu erwarten ist. Selbst unter den formulierten „best-case“-Annahmen sowie unter den Verhältnissen der simulierten Langfristbetrachtung bleibt diese Aussage prinzipiell bestehen. Der spezifische Kostenanstieg, der sich aufgrund des Einwohnerrückganges einstellen wird, kann demnach mit den Maßnahmen der Dezentralisierung nicht verhindert werden. Er kann lediglich in engen Grenzen abgeschwächt werden.

Die genannten Aussagen gelten zunächst für den Gebietskontext des Untersuchungsgebietes. Vorliegende Strukturdaten des Abwasserwesens deuten aber darauf hin, dass dieser Gebietskontext typisch für die derzeitige Abwasserentsorgungsstruktur insbesondere in Ostdeutschland ist. Ähnlich wie im vorliegende Untersuchungsgebiet wurde das Kanalnetz in Ostdeutschland insgesamt in den zurückliegenden Jahren massiv ausgebaut. Betroffen hiervon waren überwiegend kleinere Gemeinden mit geringen Dichten. Gleichzeitig war und ist vielerorts ein Rückgang der Einwohnerzahlen zu beobachten. Die Grundaussagen sind demnach vermutlich ähnlich in ländlich strukturierten Gebieten Ostdeutschlands zu erwarten. Anders zeigt sich das Bild im Westen Deutschlands. Auch hier wurden in den zurückliegenden Jahren vor allem geringer verdichtete Gebiete neu zentral erschlossen, was zu einem anhaltenden Anstieg des mittleren Erschließungsaufwandes und in der Tendenz zu schwindenden Skalenvorteilen zentraler Strukturen führte. Das mittlere Baulter der anliegenden Netze ist im ehemaligen Bundesgebiet aber höher als in Ostdeutschland, die Bevölkerungsentwick-

lung insgesamt bislang deutlich stabiler, obgleich auch hier insbesondere in ländlichen Kreisen außerhalb der Suburbanisierungsgebiete der Zenit des Bevölkerungswachstums inzwischen überschritten ist (BBR 2009, 11). Kommt es aufgrund von Bevölkerungsverlusten zu kostenineffizienten Erschließungssituationen im zentralen Netz, was nach derzeitigen Bevölkerungsvorausrechnungen in hiervon betroffenen Regionen nicht auszuschließen ist, dürfte in Westdeutschland mittelfristig der Optionsraum für Anpassungen aufgrund des deutlich höheren anstehenden Ersatzbedarfs größer sein. Eine Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass bereits heute Erhaltungsstrategien darauf ausgerichtet werden und auf umfangreiche Erneuerungsmaßnahmen soweit möglich verzichtet wird.

## 14.2 Bewertungsverfahren

Vorliegende, in der Praxis eingeführte Verfahren der Kostenbewertung abwassertechnischer Systeme sind für den Neubau- und Ausbaufall konzipiert. Sie greifen für die hier zu leistende Bewertungsaufgabe zu kurz (s. Abschnitt 1.2). Mit dem entwickelten Bewertungsverfahren wird dagegen ein methodischer Ansatz vorgelegt, mit dem die Anpassung bestehender netzgebundener Abwasserinfrastrukturen unter besonderer Berücksichtigung dezentraler Systemalternativen vor dem Hintergrund von Auslastungsveränderungen (z. B. infolge von Bevölkerungsrückgang) aus Kostengesichtspunkten bewertet werden kann.

Betrachtet werden alle relevanten Kostenwirkungen im technischen System der Abwasserentsorgung, die infolge der Anpassung des Systems durch Dezentralisierung auftreten. Dabei bleibt zunächst außer Acht, wie sich die Kostenwirkungen bei den beteiligten Akteursgruppen niederschlagen. Dadurch wird ein neutraler Blick auf die Gesamtkostenentwicklung aus übergeordneter Perspektive eingenommen. Dies erlaubt zunächst eine Kostenbewertung losgelöst von akteursgruppenspezifischen und betreibermodellabhängigen Kostenbilanzrahmen und somit die grundsätzliche Beantwortung von Fragen der Kostenvorteilhaftigkeit der betrachteten Umbauvarianten. Die Reflexion möglicher Auswirkungen auf bestehende Kostenverteilungsmechanismen, auch verbunden mit sozialen Implikationen der Kostenumlage, ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Diese spannende und notwendige Diskussion kann aufbauend auf den vorliegenden Ergebnissen bei Erweiterungen des Verfahrens um ein entsprechendes Kostenumlagemodul angereichert werden.

Das entwickelte Verfahren ist modular aufgebaut. Die Module orientieren sich an den Hauptaufgabenblöcken, die mit dem Bewertungsverfahren zu leisten sind (Tabelle 14-1; s. hierzu auch Abschnitt 1.4.2). Sie werden im Bewertungsverfahren in einer festgelegten Abfolge durchlaufen und bauen aufeinander auf. Soweit möglich, werden bei der Entwicklung der Module auf vorliegende Methoden zurückgegriffen und vorliegende Werkzeuge mit einbezogen. Dies betrifft insbesondere den Rückgriff auf

methodische Grundlagen des Stadtstrukturtypenansatzes bei der Formulierung des Siedlungsmodells sowie die Einbindung und Adaption des verwendeten Werkzeugs zur Siedlungsmustererkennung, das methodisch auf Grundlagen des Stadtstrukturtypenansatzes aufbaut. Die Leistungsfähigkeit der Einzelmodule ist in Abschnitt 13.2 beschrieben.

Tabelle 14-1: Module des Bewertungsverfahrens, bezogen auf die zu leistenden Hauptaufgabenblöcke

| Hauptaufgabenblock  | Teilmodule des Bewertungsverfahrens  |
|---|--|
| Überführung der Siedlungs- und Versorgungsstruktur in ein geeignetes Abbildungsmodell | Abbildungsmodell bestehend aus <ul style="list-style-type: none"><li>- Siedlungsmodell,</li><li>- Infrastrukturmodell,</li><li>- Schlauchmodell.</li></ul> |
| Entwerfen von Dezentralisierungspfaden  | Sequenzanalyse   |
| Bewertung physischer Veränderungen mit Kosten   | Kostenmodell   |

Das Verfahren orientiert auf frei verfügbare Daten sowie weitgehend unkritische Netzdaten von Entsorgungsunternehmen. Es lässt damit auch eine Anwendung zu, wenn kein Zugriff auf Daten höherer Qualität gegeben ist. Dies ist z. B. dann denkbar, wenn auf regionalplanerischer Ebene übergeordnete Betrachtungen angestellt werden. Durch die Verwendung geeigneter Schätzverfahren werden die zum Teil nicht ausreichend sachlich und räumlich differenzierten Daten so konditioniert, dass auf dieser Grundlage eine Bewertung erfolgen kann. Dabei wird ein besonderes Gewicht auf die Konsistenz des verwendeten Datengerüsts gelegt, sowohl innerhalb des Modells zwischen den verwendeten Parametern, als auch in Bezug auf Realdaten, die räumlich und sachlich höher aggregiert abgerufen werden können. Bei Vorliegen von Daten höherer Qualität kann das Verfahren bei Beibehaltung des methodischen Grundgerüsts jedoch deutlich vereinfacht werden. Auf die Anwendung einzelner Teilmodule kann verzichtet werden, wenn die damit generierten Outputdaten bereits vorliegen. Dies betrifft insbesondere die Module Siedlungs- und Infrastrukturmodell, in denen eine umfangreiche Konditionierung eingehender Daten erfolgt sowie Teilaufgaben des Schlauchmodells. Sind beispielsweise aus Kundendateien Lage, Größe und Belegung der Gebäude im Entsorgungsgebiet bekannt, kann auf die Module des Siedlungsmodells weitestgehend verzichtet werden. Liegen Netzdaten mit den relevanten Sachdaten in einem GIS-fähigen Format vor, verringert sich der Aufbereitungsaufwand im Infrastrukturmodell erheblich. Im Schlauchmodell kann bei Kenntnis der Lage der angeschlossenen Gebäude auf den Schritt der Schätzung der Einzugsbereiche verzichtet und die Gebäude direkt nach den entwickelten Regeln den Leitungsabschnitten zugeordnet werden. Abbildung 14-1 zeigt die im Verfahren verwendeten Inputdaten, die Modellierungsschritte in den einzelnen Modulen sowie die generierten Outputdaten im Überblick.

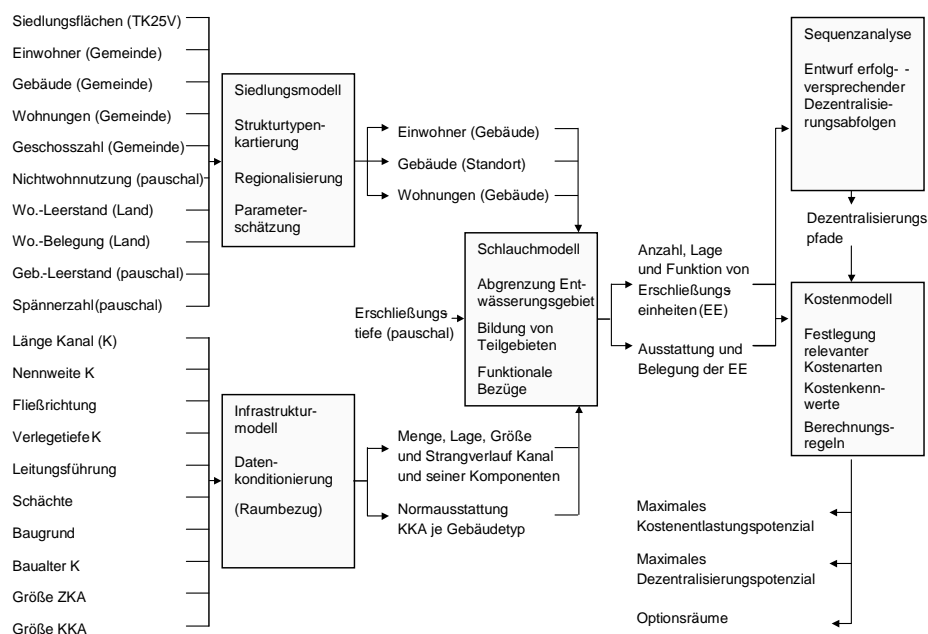


Abbildung 14-1: Module, Inputdaten und Outputdaten des Bewertungsverfahrens im Überblick

Der methodische Kern des verfolgten Ansatzes ist die Integration des kleinräumigen Raumbezugs der verwendeten Sachdaten in das Bewertungsverfahren. Dies ermöglicht die Berücksichtigung räumlich ausdifferenzierter Ausprägungen der Nachfrage nach Entsorgungsleistungen und des Angebots an Entsorgungsinfrastruktur. Unter Verwendung geoinformatischer Analysewerkzeuge<sup>109</sup> gelingt es dadurch, einen teilräumlichen Bezug zwischen dem netzgebundenen Infrastrukturangebot und der flächen- bzw. standortbezogenen Nachfrage nach Infrastrukturleistungen herzustellen und somit Aufwand, Auslastung und funktionale Zusammenhänge des betrachteten leitungsgebundenen Infrastruktursystems adäquat zu berücksichtigen. Erst dadurch können bestehende Pfadabhängigkeiten möglicher Anpassungsoptionen abgebildet und in das Bewertungsverfahren einbezogen werden. Im Rahmen dieses methodischen Grundgerüsts erfolgt die Bearbeitung der Teilaufgaben in den Modulen nach Kriterien, die unter Beachtung sachlicher Gegebenheiten des Untersuchungsgegenstandes „Abwasserentsorgung“ formuliert sind. So erfolgt im Siedlungs- und Infrastrukturmodell die Parameterauswahl und Aufbereitung nach nachfrage- und angebotsrelevanten abwassertechnischen Kostenparametern, im Schlauchmodell und der Sequenzanalyse gewinnen darüber hinaus funktionale abwassertechnische Bezüge zwischen Siedlungs- und

<sup>109</sup> Die Analysen wurden unter Verwendung von ESRI-Arc-GIS durchgeführt.

Infrastruktureinheiten sowie funktionale abwassertechnische Abhängigkeiten im Netzzusammenhang an Bedeutung. Das Verfahren besteht demnach aus einem allgemeinen methodischen Teil, der Phänomene reflektiert, die allgemein bei netzgebundenen Infrastrukturen anzutreffen sind, sowie aus einem spezifischen methodischen Teil, der die technischen und funktionalen Besonderheiten der betrachteten Infrastruktur „Abwasserentsorgung“ berücksichtigt. Somit lässt sich das Verfahren auf andere netzgebundene Infrastrukturbereiche übertragen, indem der allgemeine methodische Teil übernommen wird und im medienspezifischen Teil entsprechende Anpassungen erfolgen.

### 14.3 Nutzen für den strategische Planungsprozess

Bislang wird die zentrale „Vollversorgungsinfrastruktur“ auch in schrumpfenden Regionen trotz sinkender Passfähigkeit immer noch als Normalfall wahrgenommen. Zum Teil werden zentrale Systeme weiter ausgebaut. Damit bleiben Anpassungsspielräume für Jahrzehnte versperrt. „Das Beharren auf diesem technischen Pfad verringert (...) künftige Handlungsoptionen“ (s. Mohajeri, Schön 2008, 237). Das hier vorgelegte Verfahren kann Hilfestellung geben, die angesprochenen festgelegten Pfade aufzubrechen und dadurch den Anpassungsoptionsraum zu erweitern. Aufgrund der langfristigen Wirkung getroffener Entscheidungen sind hierzu frühzeitige Weichenstellungen erforderlich. Um Machbarkeiten abzuschätzen, ist Orientierungswissen über künftige Entwicklungen und Folgewirkungen möglicher Optionen erforderlich. Beides wird mit dem hier erarbeiteten Verfahren zusammengefügt und kann durch die Darstellung raumbezogener Optionsräume in konkretes Handlungswissen überführt werden. So kann das Verfahren beispielsweise wertvolle Hilfeleistungen auch bei Fragen der Netzerweiterung leisten, indem potenzielle Erweiterungsgebiete mit den geplanten Netzschnitten in die Betrachtung einbezogen werden. Dadurch lässt sich aufzeigen, inwieweit sich geplante Erweiterungen auf den Anpassungsspielraum im Bestandsnetz auswirken, und es kann ggf. verhindert werden, dass sich abzeichnende sinnvolle Anpassungsoptionen durch die Netzerweiterung vergeben werden.

Infrastrukturplanung und Stadtentwicklungsplanung verlaufen in vielen Städten und Gemeinden immer noch entkoppelt. Gemeinsame langfristige Strategien im Sinne einer zeitlichen, räumlichen, sachlichen oder finanziellen Abstimmung sind die Ausnahme. Vielmehr herrscht in der täglichen Praxis der Siedlungs- und Infrastrukturplanung noch immer eine eher kurzfristige Orientierung vor (Libbe 2008b, 30). Dadurch entsteht insbesondere in Umbruchsituationen, wie bei derzeit ablaufenden demografischen Prozessen, zunehmend Planungsunsicherheit. Gefordert wird eine deutlich langfristige und integrierte Ausrichtung der Siedlungsentwicklungsplanung sowie der Fachplanungen. Im vorliegenden Bewertungsverfahren sind beide Bereiche integriert und miteinander verknüpft. Damit können Fragen siedlungsstruktureller Anpassungen mit

infrastrukturellen Anpassungsoptionen gekoppelt und langfristige Folgewirkungsbeziehungen aufgezeigt werden.

Auch die Überlagerung mit Planwerken und Entwicklungsoptionen anderer Fachplanung ist denkbar, ohne dass eine direkte Integration in das vorliegende Bewertungsverfahren erfolgen muss. Hier kommen die Möglichkeiten der kartografischen Ergebnisdarstellung aufgrund des bestehenden Raumbezugs des Bewertungsverfahrens zum Tragen. So können unter Nutzung von Geoinformationssystemen die Ergebnisse der Kostenberechnungen unmittelbar auf den Untersuchungsraum projiziert werden. Dies erlaubt eine Überlagerung der Ergebnisse mit Planwerken und Strategieüberlegungen anderer Planungsdisziplinen. So lassen sich mögliche Dissonanzen der strategischen Ausrichtung der in Betracht gezogenen Fachdisziplinen aufzeigen und Möglichkeiten der Abstimmung ausloten. Zum anderen hilft dies, lokale Brennpunkte zu identifizieren, in denen sich Handlungsbedarfe unterschiedlicher Fachdisziplinen konzentrieren. Dies kann helfen Synergien möglicher Anpassungsoptionen aufzuspüren und zu nutzen. Insgesamt trägt dies zur Verbesserung der Planungssicherheit bei. Ein Beispiel ist die Überlagerung abwasserwirtschaftlicher Planungen mit dem Bereich der Trinkwasserversorgung. Auch hier wird zum Teil über dezentrale Lösungen für stark ausgedünnte Standorte nachgedacht. Hieraus können sich sinnvolle Kopplungen mit Anpassungsoptionen des Abwassersystems ergeben. Werden Synergien standortbezogen entsprechend herausgearbeitet, sind Voraussetzungen für die Entwicklung ganzheitlicher Anpassungskonzepte gegeben. In diesem Falle gewinnen sicherlich in nachgeordneten Planungsstufen die vielfältigen verfahrenstechnischen Möglichkeiten einer lokalen Nutzung der im Abwasser enthaltenen Teilströme an Bedeutung.

Die Ausrichtung des Verfahrens auf die regionale (überörtliche) Betrachtungsebene birgt insofern Potenziale für die strategische Planung, indem dadurch ermöglicht wird, überkommunale Abhängigkeiten und Zusammenhänge sichtbar zu machen und den Blick auf eine regionale Lösungsperspektive zu lenken. Effizienzeinbußen, die aus unkoordiniertem Einzelakteurshandeln entstehen können, kann damit entgegengetreten werden.





## 15 Forschungs- und Entwicklungsbedarf

Forschungs- und Entwicklungsbedarf wurde in den vorangegangenen Abschnitten bereits an mehreren Stellen angesprochen. Nachfolgend werden diese Punkte zusammengefasst und ergänzt.

### *Erweiterung des Verfahrens um bislang nicht berücksichtigte aber kostenrelevante Bereiche*

Die Nichtberücksichtigung der Aspekte „Niederschlagswasser in Mischsystemen“ und „unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten im verbleibenden Netz“ kann zu Verzerrungen der Ergebnisse führen. Auch im vorliegenden Untersuchungsgebiet ist dies zu konstatieren, ohne dass dies die Grundaussagen der Ergebnisse in Frage stellt. Dennoch ist es wünschenswert, bei einer weiteren Qualifizierung des Verfahrens die Einflüsse der beiden genannten Aspekte mit zu berücksichtigen.

Die Ausklammerung des Bereichs Niederschlagswasser in Mischsystemen wurde mit der Vermutung begründet, dass potenzielle Abkopplungsgebiete in der Regel ländlich strukturiert sind und bereits über dezentrale Niederschlagswassersysteme verfügen. Es zeigt sich aber, dass durchaus auch Entsorgungseinheiten in den Arrondierungen der Kernsiedlungsgebiete, mit anliegender Mischentwässerung optionale Dezentralisierungsgebiete darstellen können. Um hieraus resultierende Kosteneffekte zu quantifizieren, bedarf es der Erweiterung des Verfahrens um den Bereich „Mischsysteme“. Hierzu sind entsprechende Erweiterungen im Mengengerüst des Infrastrukturmodells und im Kostenmodell vorzunehmen. Es kann in diesem Zusammenhang erforderlich werden, eine Einschätzung des zu erwartenden Niederschlagswassers vorzunehmen. Diese kann an vorliegenden Flächendaten des Siedlungsmodells ansetzen, wenn zusätzlich Aussagen zu deren Versickerungseigenschaften getroffen werden.

Zur Berücksichtigung unterauslastungsbedingter Kanalbetriebskosten wäre eine Erweiterung des Ansatzes um ein Modul der hydraulischen Berechnung der Kanäle denkbar. Hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Auslastung, Folgeschäden bzw. Zusatzaufwand liegen derzeit nur sehr wenige und sehr pauschale Aussagen vor. Hier sollte versucht werden, diesen Zusammenhang weiter theoretisch und empirisch zu erhärten und besser zu quantifizieren.

### *Qualitative Weiterentwicklung der Module*

Entwicklungsbedarf im Siedlungsmodell besteht insbesondere bei den Verfahren der Siedlungsmustererkennung und -Typisierung. Hier ist eine Anpassung des Siedlungsmustererkennungsverfahrens an Besonderheiten ländlich geprägter Siedlungsstrukturen wünschenswert. Dies betrifft insbesondere eine Verbesserung der Verfahren zur Erkennung ländlicher Gebäudetypen und in diesem Zusammenhang auch die Abgrenzung von Wohngebäuden von Nebengebäuden mit Nichtwohnnutzung. Zweitens

betrifft dies die Regionalisierung verwendeter Dichtekennwerte zur Parameterschätzung.

Im Infrastrukturmodell sind qualitative Verbesserungen und nutzbare Rationalisierungspotenziale bei Vorliegen qualitativ hochwertiger Daten zu erwarten. Hierzu sind derzeit keine nennenswerten Forschungs- und Entwicklungsleistungen erkennbar.

Das Schlauchmodell birgt vor allem weitere Automatisierungspotenziale bezüglich der kleinräumigen Abgrenzung von Entsorgungseinheiten, die bislang manuell erfolgt. Hier ist über eine Entwicklung automatisierter geoinformatischer Verfahren nachzudenken, die sich an den verwendeten abwassertechnischen Entwurfskriterien orientieren.

Unter den in der Sequenzanalyse entworfenen Pfaden hat sich der Pfad „LEP“ erwartungsgemäß als am erfolgversprechendsten gezeigt. Hierauf sollten sich weitere Entwicklungsaktivitäten konzentrieren. Dies betrifft vor allem die Einführung einer zeitlichen Dimension in der Sequenzanalyse. Auch die bislang nicht erfolgte Implementierung der dynamischen Anpassung des Anteils der äußeren Erschließung im Zuge der Pfadgenerierung bleibt als Entwicklungsaufgabe bestehen<sup>110</sup>.

Im Kostenmodell sind von zwei Entwicklungssträngen weitere interessante Aspekte zu erwarten. Dies betrifft zum einen die Erweiterung des Modells um eine dynamische Komponente, welche die Bewertung zeitlicher Verläufe von Dezentralisierungsabfolgen ermöglicht (in Kombination mit der Einführung der zeitlichen Komponente in der Sequenzanalyse, s. o.)<sup>111</sup>. Zweitens ist nach Möglichkeiten zu suchen, Kosteneffekte abgestimmter Netzerhaltungsstrategien in die Folgekostenbetrachtung denkbarer Dezentralisierungsstrategien mit einzubeziehen. So bedingt die Realisierung langfristig sich einstellender Kostenentlastungspotenziale durch Dezentralisierung eine abgestimmte Netzerhaltungsstrategie, um zum anvisierten Zeitpunkt des Umbaus möglichst hohe Anteile wegfallender Ersatzinvestitionen geltend machen zu können (s. Abschnitt 14.1).

### *Akteursbezogene Kostenbilanzierung*

Das vorliegende Verfahren betrachtet alle relevanten Kostenwirkungen der Dezentralisierung ohne zu berücksichtigen, wie sich diese bei den einzelnen Akteursgruppen niederschlagen. Soll die Bewertung aus Sicht einer einzelnen Akteursgruppe vorgenommen werden, ist deren Kostenbilanzrahmen entsprechend zu berücksichtigen. Zu

---

<sup>110</sup> Auf diesen Aspekt, der die antizipierte Berücksichtigung von Aufwendungen nicht angebauter Kanalabschnitte in nachfolgenden Entsorgungseinheiten ermöglicht, wurde aus Gründen der Modellvereinfachung im Pfad „LEP“ verzichtet (s. Abschnitt 9.3).

<sup>111</sup> im vorliegenden Verfahren erfolgen Zeitpunkt Betrachtungen

denken ist hierbei in erster Linie an den Akteur der entsorgungspflichtigen Körperschaft bzw. des beauftragten Entsorgungsunternehmens.

In diesem Zusammenhang ist auch die Herstellung des Bezugs zur Gebührenbemessung ein Aufgabenfeld. So wird die öffentliche Abwasserentsorgung unter Anwendung des sog. Kostendeckungsprinzips über Gebühren und Beiträge finanziert. Darüber hinaus werden Zuschüsse und Zuweisungen öffentlicher Fördergeber eingesetzt. Unter Berücksichtigung der einschlägigen rechtlichen Vorgaben, insbesondere aus den Kommunalabgabengesetzen der Länder, könnte dieser Bereich aufgearbeitet werden und in Beziehung zu der hier vorgenommenen Kostenbetrachtung gebracht werden. Dabei wäre zu fragen, in welchem Ausmaß sich die berechenbaren Kostenfolgen der Transformation in den Gebühren niederschlagen können. Hier wären auch Möglichkeiten der organisatorischen und rechtlichen Gestaltung der Dezentralisierung mit zu berücksichtigen.

#### *Integrierte regionale Wasserkonzepte*

Die Bereiche Trinkwasser und Abwasser sind eng miteinander verknüpft. Im konventionellen Fall werden beide Bereiche in getrennten, voneinander abgekoppelten Systemen geführt. Trinkwasser wird dem natürlichen Wasserkreislauf entnommen. Übergabestelle ist die Nutzung des Trinkwassers, wodurch Schmutzwasser entsteht und im Regelfall über das System der Abwasserentsorgung abgeleitet, behandelt und in den natürlichen Kreislauf eingeleitet wird. Auf Gebäudeebene ist die Entwicklung von Lösungen zur Stoffstromtrennung und Kreislaufführung weit entwickelt. Von Mehrfachnutzung des Wassers ohne zwischenzeitliche Einleitung in den natürlichen Stoffkreislauf sind Trink- und Abwasserströme gleichermaßen betroffen. Werden solche Lösungen isoliert entwickelt, kann dies Einfluss auf den Kanalaufwand der Ableitung haben. Der Leitungsaufwand der Trinkwasserversorgung bleibt davon unberührt. Eine Überlagerung denkbarer Dezentralisierungsansätze aus beiden Bereichen kann Synergien erzeugen und zur Herausbildung integrierter dezentraler Strukturen beider Bereiche beitragen. Diese gilt es herauszuarbeiten und unter Beachtung kostenseitiger Effizienzüberlegungen sowie ökologischer und sozialer Aspekte hinsichtlich der Eignung in ausgedünnten Regionen zu reflektieren.

#### *Übertragung des Ansatzes auf andere netzgebundene Infrastrukturbereiche*

Das entwickelte Bewertungsverfahren setzt sich zusammen aus einem allgemeinen methodischen Teil, der Phänomene reflektiert, die allgemein bei netzgebundenen Infrastrukturen anzutreffen sind, sowie einem spezifischen methodischen Teil, der die technischen und funktionalen Besonderheiten der betrachteten Infrastruktur „Abwasserentsorgung“ berücksichtigt. Eine Übertragung des Verfahrens auf andere netzgebundene Infrastrukturbereiche wird dadurch möglich. Zu denken ist hier an Versorgungsinfrastrukturen in den Bereichen Trinkwasser und Energie sowie an den Bereich

der Telekommunikation. Im Trinkwasserbereich sind in diesem Zusammenhang vorhandene wasserrechtliche Einschränkungen in besonderem Maße von Bedeutung. Im Energiesektor ist u. a. spannend zu fragen, inwieweit sich vor dem Hintergrund des bestehenden überalterten Kraftwerkparcs Handlungsfenster der Anpassung eröffnen (s. Libbe 2008b, 19), der Telekommunikationssektor hat sich in den zurückliegenden Jahren bereits grundlegend gewandelt. Mobile leitungsunabhängige Systeme gewinnen hier immer mehr an Bedeutung. Hier ist die Frage, ob ein Dezentralisierungspotenzial noch gegeben ist oder ob Anpassungen stärker in den Systemen ohne grundlegende Veränderung der räumlichen Strukturen erfolgen werden.

### *Implementationsforschung*

Durch den regionalen Ansatz des Modells können Ansatzpunkte der Transformation jenseits eng eingegrenzter administrativer Gebietsabgrenzungen aufgezeigt und diskutiert werden. Möglich ist die Überschneidung mit sehr unterschiedlichen fachplanerischen Aufgabenbereichen. Neben der Abwasserentsorgung sind dies beispielsweise Siedlungsplanung, Trinkwasserversorgung und Boden- und Gewässerschutz. Dadurch besteht die Möglichkeit zur Schaffung einer gemeinsamen Plattform zur Berücksichtigung wechselseitiger Abhängigkeiten. Diese Auseinandersetzung bleibt aber Theorie, wenn es nicht gelingt, diese Erkenntnisse in planerische und politische Prozesse zu implementieren. Wie hier vorgegangen werden kann, welche Akteure einzubinden sind, wie derartige Umsetzungsprozesse gestaltet und mit Werkzeugen, wie das in dieser Arbeit entwickelte, unterstützt werden können, das sind Fragen, denen weiter nachgegangen werden sollte.

## Literatur

- AbvW (2009): 5. Verordnung zur Änderung der Abwasserverordnung vom 2. Juli 2002. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002, Teil 1 Nr. 45.
- AbwAG (2005): Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserabgabengesetz - AbwAG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Januar 2005.
- Abwasserzweckverband Obere Schwarze Elster (2005): Satzung des Abwasserzweckverbandes Obere Schwarze Elster über die öffentliche Abwasserbeseitigung im Entsorgungsgebiet Kamenz vom 08.12.2005.
- Abwasserzweckverband Obere Schwarze Elster (2006): Übersichtsplan Bestand und Planung. Datum: 08.03.2006. Maßstab 1:25.000.
- Albrecht, T. (2001): Dimensionierung von technischer Infrastruktur für Typen der Bebauung im Rahmen von Stoffstromuntersuchungen. Diplomarbeit, TU Dresden, Fakultät für Bauingenieurwesen, Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau, Lehrstuhl für Stadtbauwesen.
- Arbeitsblatt ATV-A 200 (1997): Grundsätze für die Abwasserentsorgung in ländlich strukturierten Gebieten. Mai 1997.
- Arbeitsgemeinschaft Baden-Württembergischer Bausparkassen; Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (1999): Effizient erschließen. Innovative Konzepte zur kosten- und flächensparenden Erschließung von Wohngebieten. Schwäbisch Hall.
- Aring, J. (2003): Stadt-Umland-Wanderung und die Ausdifferenzierung der Wohnungsmärkte. In: vhw Forum Wohneigentum, Heft 5, S. 268-272.
- ATV/DVWK/BGW (2003): Marktdaten Abwasser 2003: Ergebnisse einer gemeinsamen Umfrage zur Abwasserentsorgung. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (ATV), Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft (BGW), Hennef, Berlin.
- ATV-Arbeitsblatt 118, 7/77: Richtlinien für die hydraulische Berechnung von Schmutz-, Regen- und Mischwasserkanälen.
- Barby, J. von (1974): Städtebauliche Infrastruktur und Kommunalwirtschaft: Methoden zur Ermittlung des Investitionsaufwandes und der Folgekosten unter Einbeziehung einer Grundausstattung. Bonn.
- BBR (2003): Stadtentwicklung und Städtebau in Deutschland. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Berichte. Band 5. Bonn.
- BBR (2004): Wohnungsmärkte in Deutschland. Ausgabe 2004. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Berichte, Band 18. Bonn.
- BBR (2008): Wanderungen und Raumentwicklung – neue Trends und Perspektiven. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Informationen zur Raumentwicklung, Heft 3/4. 2008.
- BBR (2009): Raumordnungsprognose 2025/2050 – Bevölkerung, private Haushalte, Erwerbspersonen. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Berichte, Band 29. Bonn.
- Berger, C.; Lohaus, J. (o.A.): Zustand der Kanalisation in Deutschland. Ergebnisse einer DWA-Umfrage 2004. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. Eigenverlag.
- BGW (Hrsg.) (1998): Kostenrechnung in der Abwasserentsorgung. Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn.
- Bilitewski, B.; Werner, P.; Reichenbach, J. (2005): Handbook on the implementation of Pay-As-You-Throw as a tool for urban Waste management. Beiträge zu Abfallwirtschaft/Altlasten. The series of the Institute of Waste Management and Contaminated Site Treatment. Dresden University of Technology, Band 29, Dresden.
- Bill, R. (1994): Grundlagen der Geoinformationssysteme. Heidelberg.

- Brachat-Schwarz, W. (2008): Reurbanisierung – Gibt es eine „Renaissance der Städte“ in Baden-Württemberg? In: Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 11/2008, S. 5-13.
- Braumann, C. (1988): Siedlungsstruktur und Infrastrukturaufwand. Auswirkungen unterschiedlicher Siedlungsstrukturen auf den Aufwand für die kommunale Infrastruktur, gezeigt an ausgewählten Salzburger Gemeinden. Salzburg.
- Brinckmann, H. (1991): Querschnittsuntersuchungen kosten- und flächensparender Bauvorhaben im Hinblick auf die Versorgungsanlagen für Elektrizität, Gas, Wasser und Fernwärme sowie die Entwässerungsanlage. Studie im Auftrag des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. Örtliche und regionale Energieversorgungskonzepte, Bd. 29. Bonn.
- Buchert, M. et al. (2004): Stoffflussbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung – Verknüpfung des Bereiches Bauen und Wohnen mit dem komplementären Bereich öffentliche Infrastruktur. UBA-Texte 01/04. Berlin.
- Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (1998): Kostensenkung bei der Erschließung und Bereitstellung von Wohnbauland. Bonn.
- BusseMF (2009): Kleinkläranlage mit Mikro-Filtration. [http://www.busse-is.de/de/busse-mf/download/Prospekt\\_Busse-MF.pdf](http://www.busse-is.de/de/busse-mf/download/Prospekt_Busse-MF.pdf) (Abrufdatum 17.03.2009).
- Deilmann, C. u. a. (2001): Nachhaltige Entwicklung des Wohnungsbestandes in sächsischen Groß- und Mittelstädten. Entwicklungsszenarien ausgewählter Wohngebiete unter ressourcen- und nutzungsorientierten Aspekten (NAWO). Endbericht. Dresden.
- Deutscher Bundestag (2002): Schlussbericht der Enquête-Kommission „Demografischer Wandel-Herausforderungen unserer älter werdenden Gesellschaft an den Einzelnen und die Politik“. Deutscher Bundestag, 14. Wahlperiode, Drucksache 14/8800.
- DIN 4261, Teil 1 (Oktober 1983): Kleinkläranlagen, Anlagen ohne Abwasserbelüftung. Anwendung, Bemessung und Ausführung, Teil 2 (Juni 1984) Kleinkläranlagen, Anlagen mit Abwasserbelüftung, Anwendung, Bemessung, Ausführung und Prüfung, Teil 3 (September 1990) Kleinkläranlagen, Anlagen ohne Abwasserbelüftung, Betrieb und Wartung, Teil 4 (Juni 1984) Kleinkläranlagen, Anlagen mit Abwasserbelüftung, Betrieb und Wartung.
- DIW Bau GmbH (2006): [www.diw-bau.de/html/sanierung\\_Klaeranlage\\_kamenz.html](http://www.diw-bau.de/html/sanierung_Klaeranlage_kamenz.html); 14.12.2006 (KAKamenz).
- Driehaus, H.-J. u. a. (Hrsg.) (2003): Kommunalabgabenrecht – Kommentare. Herne.
- Duhme, F.; Pauleit, S. (1992): Strukturtypenkartierung als Instrument der räumlich-integrativen Analyse und Bewertung der Umweltbedingungen in München. Teil 1: Ziele und Methodik. Lehrstuhl für Landschaftsökologie TU München-Weihenstephan, Freising.
- Ecoplan. Wirtschafts- und Umweltstudien (2000): Siedlungsentwicklung und Infrastrukturkosten. Gutachten im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung, des Staatssekretariats für Wirtschaft und des Amtes für Gemeinden und Raumordnung des Kantons Bern. Bern.
- Eekhoff, J.; Bösch, I.; Laasch, J.; Weber, B. (2006): Gute Beispiele zur Stabilisierung der Wohnnebenkosten in der kommunalen Praxis – Trinkwasser, Abwasser und Abfall. Reihe „Werkstatt: Praxis“ Heft 39 des BBR. Bonn.
- Eiswirth, M. (2000): Nachhaltige urbane Wasser- und Abwassersysteme. In: UmweltPraxis 2000, S. 45-48.
- EPA (1993): Cost of providing government services to alternative residential patterns (Executive Summary). Environmental Protection Agency. Report Prepared for the Chesapeake Bay Program's Subcommittee on Population Growth and Development. Contract No. 68-WO-0043. Washington D.C.
- EWG (1991): Richtlinie des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser (91/271/EWG) geändert durch die Richtlinie 98/15/EG der Kommission vom 27. Februar 1998 (Abwasserrichtlinie).

- Fehr, G. (1992): Entwicklung eines Bewertungsverfahrens zur Frage der zentralen oder dezentralen Abwasserreinigung im ländlichen Raum. Lehrstuhl für Umweltechnik und Management der privaten Universität Witten/Herdecke GmbH. Schriftenreihe Wasser und Umwelt. Band 6.
- Fehr, G.; Schütte, H. (1994): Entscheidungsgrundlagen für eine zentrale oder dezentrale Abwasserentsorgung. In Korrespondenz Abwasser. 41. Jahrgang, 7/94, S. 1086-1094.
- Felde, K. von; Burmester, M. (2001): Betrieb und Überwachung von Kleinkläranlagen. Schriftenreihe der Kommunalen Umwelt Aktion N.U.A.N. Heft 42.
- Flöthmann, E.-J.; Tovote, U.; Schliefecker, T. (2006): Ein Blick in die Zukunft: Deutschlands Kommunen im Wettbewerb um Einwohner. Ergebnisse der kleinräumigen Bevölkerungsprognose 2020. In: Bertelsmann Stiftung (Hrsg.) (2006): Wegweiser Demografischer Wandel 2020. Analysen und Handlungskonzepte für Städte und Gemeinden. Verlag Bertelsmann Stiftung, Gütersloh.
- Franz, T.; Kühn, V.; Krebs, P. (2005): Rahmenbedingungen der Entscheidungsfindung für oder gegen die dezentrale Abwasserbeseitigung und ihre Folgen. KA-Abwasser, Abfall 2005 (52) Nr. 2, S. 141-145.
- Freistaat Sachsen (2006): Kommunale Abwasserbeseitigung im Freistaat Sachsen, Lagebericht 2005. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft.
- Freistaat Sachsen (2007): Kommunale Abwasserbeseitigung im Freistaat Sachsen. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL). Lagebericht 2006. Dresden.
- Freudenberg, D.; Koziol, M. (2003): Anpassung der technischen Infrastruktur beim Stadtumbau – Arbeitshilfe. Fachbeiträge zu Stadtentwicklung und Wohnen im Land Brandenburg. Frankfurt/Oder. Institut für Stadtentwicklung und Wohnen.
- Gabler, T. (Hrsg.) (1992): Gabler Wirtschaftslexikon. Gabler Verlag, Wiesbaden.
- Gans, P.; Schmitz-Veltin, A. (Hrsg.) (2006): Räumliche Konsequenzen des demographischen Wandels, Teil 6: Demographische Trends in Deutschland – Folgen für Städte und Regionen. ARL Forschungs- und Sitzungsberichte 226, Hannover.
- Gassner, E. (1969): Bauleitplanung und Kanalisation: Eine Darstellung der städtebaulichen Zusammenhänge. Nürnberg.
- Gassner, E.; Heckenbücker, B.; Thünker, H. (1986): Entwicklung des Erschließungsaufwandes nach Flächeninanspruchnahme, Bau- und Bodenkosten: Eine Untersuchung für Verhältnisse im Verdichtungsraum und im ländlichen Siedlungsraum. Forschungsbericht. Informationszentrum Raum und Bau, Fraunhofer-Gesellschaft, IRB. T 1845. Stuttgart. IRB Verlag.
- Gassner, E.; Thünker, H. (1990): Die technische Infrastruktur in der Bauleitplanung. Berlin.
- Gemeinde Wesenberg (1995): Satzung über die Erhebung von Anschlussbeiträgen für die zentrale Abwasserbeseitigung der Gemeinde Wesenberg für den Ortsteil Stubbendorf vom 07. Dezember 1995.
- Gemmel, R. (2004): Neuorientierung der Abwasserpolitik. In: SPD-Landtagsfraktion Brandenburg (Hrsg.) (2004): Kostenentlastung durch kluge Lösungen – Initiativen der SPD-Landtagsfraktion zur Durchsetzung einer Kosten senkenden Abwasserreinigung in Brandenburg. Potsdam.
- Gesenhoff, J. (2006): Dezentrale Abwasserbewirtschaftung. 2. VES-Kolloquium Technische Infrastruktur in der Raumplanung am 16./17. Februar 2005, Universität Dortmund.
- Geyler, S.; Holländer, R. (2005): Ein Vergleich von zentralen und dezentralen Lösungen zur Abwasserentsorgung im ländlichen Raum. ICAR Discussion Paper 8/2005.
- Göderitz, J. (1954): Besiedelungsdichte, Bebauungsweisen und Erschließungskosten im Wohnungsbau. Wiesbaden.
- Goris, A. (Hrsg.) (2006): Bautabellen für Ingenieure mit Berechnungshinweisen und Beispielen. Begründet von Klaus-Jürgen Schneider. 17. Auflage, Werner Verlag.



- Graham, S.; Marvin, S. (2001): *Splintering Urbanism*. Routledge, London.
- Gruhler, K.; Schmuck, M.; Böhm, R.; Deilmann, C. (2008): Sanierung und Umbau versus Neubau? Stofflich-energetische sowie kostenseitige Gegenüberstellung von Sanierung, Umnutzung und Neubau von Wohn- und Gewerbebauten im ländlichen Raum. IÖR-Texte 155. Dresden.
- Gujer, W. (2007): *Siedlungswasserwirtschaft*. 3. bearbeitete Auflage. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gutachterausschuss für Grundstückswerte im Kreis Aachen (2000): Grundstücksmarktbericht. ([http://kreis-aachen.de/C1256C5B004AF410/CurrentBaseLink/EE23ABE18EC038F1C1257176002671D8/\\$File/Mark\\_9.pdf](http://kreis-aachen.de/C1256C5B004AF410/CurrentBaseLink/EE23ABE18EC038F1C1257176002671D8/$File/Mark_9.pdf) (Abrufdatum: 18.05.2008)).
- Gutsche, J.-M. (2006): Kurz-, mittel- und langfristige Kosten der Baulanderschließung für die Öffentliche Hand, die Grundstücksbesitzer und die Allgemeinheit. Unterschiede zwischen Wohnbaulandausweisungen auf Brachen und der grünen Wiese, dargestellt an Beispielstandorten im Stadt-Umland-Bereich Husum. Abschlussbericht. Gertz Gutsche Rümenapp. Hamburg.
- Halbach (2003): *Handbuch Kommunale Abwasserbeseitigung*. Institut für Abwasserwirtschaft Halbach, Werdau. Eigenverlag.
- Haug, P.; Deilmann, C. (2008): Kommunale Netzinfrastruktur. In: *Infrastrukturrecht*, Nr. 11/2008, 5. Jg., Sonderausgabe Kommunales Infrastrukturmanagement.
- Hawlik, J. (2008): Bewertung von zentralen und dezentralen Entwässerungslösungen im ländlichen Raum im Hinblick auf den demographischen Wandel. Diplomarbeit, Institut für Raumordnung und Entwicklungsplanung/Institut für Siedlungswasserbau, Universität Stuttgart.
- Herbst, H.-B. (2008): Bewertung zentraler und dezentraler Abwasserinfrastruktursysteme. Dissertation, Fakultät für Bauingenieurwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen.
- Herfert, G. (2002): Desurbanisierung und Reurbanisierung. Polariserte Raumentwicklung in der ost-deutschen Schrumpflandschaft. In: *Raumforschung und Raumordnung*, Heft 5-6, S. 334-344.
- Herz, R. (2004): Szenarien der Stadtentwicklung und ihre Auswirkungen auf die technischen Infrastruktursysteme. In: Herz, R. (Hrsg.): *Stadtumbau und Anpassung der Wärmeversorgungs-systeme*. 5. Kolloquium Stadtbauwesen am 30.1.2004. TU Dresden, Lehrstuhl Stadtbauwesen, S. 7-18.
- Herz, R. (1999): Der Zustand von Abwasserkanälen und Entsorgungsleitungen. In: Kohler, N.; Hassler, U.; Wang, W. (Hrsg.) (1999): *Umbau. Über die Zukunft des Baubestandes*. Wasmuth, Tübingen, Berlin.
- Herz, R.; Werner, M.; Marschke, L. (2002): Anpassung der technischen Infrastruktur. In: BMVBW (Hrsg.): *Fachdokumentation zum Bundeswettbewerb „Stadtumbau-Ost“ – Expertisen zu städtebaulichen und wohnungswirtschaftlichen Aspekten des Stadtumbaus in den neuen Ländern*. S. 50-60. Berlin.
- Hießl, H.; Toussaint, D.; Becker, M.; Dyrbusch A.; Geisler, S.; Herbst, H.-B.; Prager, J. (2003): Alternativen der kommunalen Wasserversorgung und Abwasserentsorgung AKWA 2100. Schriftenreihe des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Heidelberg.
- Hoheisel, K. (2000): Überwachung von Kleinkläranlagen mit biologischer Stufe. In: *KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall* 2000 (47) Nr. 10, Seite 1506-1513.
- Holst, M.; Hogrebe, P.; Krüger, M. (1997): Erschließungskosten von neuen Wohn- und Mischgebieten im Städtevergleich. Studie im Auftrag des Ministeriums für Stadtentwicklung, Kultur und Sport des Landes Nordrhein-Westfalen. MSKS 3/97. Düsseldorf.
- Hommel, U.; Lehmann, H. (2002): Die Bewertung von Investitionsprojekten mit dem Realoptionenansatz – Ein Methodenüberblick. In: Hommel, U.; Scholich, M.; Vollrath, R. (Hrsg.) (2001): *Realoptionen in der Unternehmenspraxis – Wert schaffen durch Flexibilität*. Springer, Berlin.
- Hosang, W.; Bischof, W. (1998): *Abwassertechnik*. Teubner. Stuttgart.

- Hudelmaier, W. (1976): Erschließungsprozeß, Baulandproduktionskosten und Grundstückspreispolitik. Schriftenreihe des Instituts für Städtebau und Landesplanung der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Universität Karlsruhe, Bd. 8. Karlsruhe.
- Im, H. (2001): Kommunale Gestaltungsspielräume bei der Bemessung von Gebühren. Regensburg.
- Imhoff, K.; Jardin, N. (Hrsg.) (2007): Taschenbuch der Stadtentwässerung. Oldenburg Industrieverlag, München.
- Ingenieurbüro Bokatec (2003): Variantenuntersuchung der Abwasserbeseitigung für den Ortsteil Piskowitz. Gutachten im Auftrag der EWAG Kamenz. (unveröffentlicht).
- Iwanow, I.; Eichhorn, D. (2002): Kommunale Wohnungsnachfrage – Rechenprogramm für die Prognose der Nachfrage. In: Stadtforschung u. Statistik (2002) 2, S. 25-32.
- Jenssen, T.; Karakoyun, E. (2005): Einfluss von Siedlungsstruktur und Siedlungsentwicklung auf Infrastrukturkosten. Dargestellt am Beispiel der Abwasserentsorgung. Diplomarbeit an der Universität Dortmund. Dortmund.
- Jeschke, Fritzsche (2007): Die neue Kleinkläranlagenverordnung in Sachsen. Sächsischer Informationstag Kleinkläranlagen am 4. Juli 2007. Vortragsfolien ([http://stadtentwaesserung-dd.de/media/files/Fachvortraege/kjeschke\\_cfritzsche\\_smul.pdf](http://stadtentwaesserung-dd.de/media/files/Fachvortraege/kjeschke_cfritzsche_smul.pdf) (Abrufdatum: 17.03.2009).
- Junkernheinrich, M.; Micosatt, G. (2005): Kommunale Daseinsvorsorge bei rückläufiger Bevölkerung. Einnahmeseitige Handlungsspielräume, aufgabenbezogene Bedarfsverschiebungen, kommunalpolitische Handlungsoptionen. Studie für den Regionalverband Ruhr. Essen.
- Kabisch, S.; Kindler, A.; Rink, D. (1997): Sozialatlas der Stadt Leipzig. UFZ – Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH.
- Kilper, H. (2005): Dezentralisierung. In: Akademie für Raumforschung und Landesplanung (ARL) (Hrsg.) (2005): Handwörterbuch der Raumordnung. Hannover.
- Kleinkläranlagenverordnung (2007): Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft zu den Anforderungen an Kleinkläranlagen und abflusslose Gruben, über deren Eigenkontrolle und Wartung sowie deren Überwachung vom 19. Juni 2007 – Sachsen. (GVBl. Nr. 8 vom 13.7.2007 S. 281).
- Kluge, T.; Libbe, J. (Hrsg.) (2006): Transformation netzgebundener Infrastruktur – Strategien für Kommunen am Beispiel Wasser. Difu-Beiträge zur Stadtforschung, Bd. 45, Berlin.
- Kluge, T.; Scheele, U. (2008): Von dezentralen zu zentralen Systemen und wieder zurück? Räumliche Dimensionen des Transformationsprozesses in der Wasserwirtschaft. In: Moss, T.; Naumann, W.; Wissen, M. (Hrsg.) Infrastrukturnetze und Raumentwicklung. oekom-Verlag, München.
- Kohler, N.; Hassler, U.; Wang, W. (Hrsg.) (1999): Umbau. Über die Zukunft des Baubestandes. Wasmuth, Tübingen, Berlin.
- Korda, M. (Hrsg.) (1999): Städtebau – Technische Grundlagen. 4. neubearbeitete Auflage. Teubner. Stuttgart.
- Korda, M. (Hrsg.) (2005): Städtebau – Technische Grundlagen. 5. neubearbeitete Auflage. Teubner. Stuttgart.
- Koziol, M. (2004): Folgen des demographischen Wandels für die kommunale Infrastruktur. In: Dkf – Deutsche Zeitschrift für Kommunalwissenschaften (2004): Im Brennpunkt: Demographischer Wandel in Kommunen. Heft 1/2004, S. 69-83.
- Koziol, M. (2006): Transformationsmanagement unter den besonderen Bedingungen der Schrumpfung. In: Kluge T.; Libbe, J. (2006): Transformation der netzgebundenen Infrastruktur – Strategien für Kommunen am Beispiel Wasser. Difu-Beiträge zur Stadtforschung. Bd. 45, Berlin.

- Koziol, M. (2008): Räumliche Differenzierung der Infrastrukturversorgung. Chancen und Restriktionen im Rahmen des Stadtumbaus. In: Moss, T.; Naumann, W.; Wissen, M. (Hrsg.) *Infrastrukturnetze und Raumentwicklung*. oekom verlag, München.
- Koziol, M.; Walther, J. (2002): *Stadtumbaukonzept Cottbus, Teil Stadttechnik, Bericht*. Cottbus.
- Koziol, M.; Walther, J. (2006): Ökonomische Schwellenwerte bei Rücknahme von technischer Infrastruktur in der Stadt. In: *Informationen zur Raumentwicklung*, 5/2006, S. 259-269.
- Koziol, M.; Veit, A.; Walther, J. (2006a): *Stadtumbau Ost-Anpassung der technischen Infrastruktur. Erkenntnisstand, Bewertung und offene Fragen. Reihe „Werkstatt: Praxis“ Heft 41 des BBR*. Bonn.
- Koziol, M.; Walther, J.; Veit, A. (2006b): Stehen wir vor einem Systemwechsel in der Wasserver- und Abwasserentsorgung? Sektorale Randbedingungen und Optionen im stadttechnischen Transformationsprozess. *netWorks-Papers*, Heft 22, Difu, Berlin.
- Kröhnert, S.; Medicus, F.; Klingholz, R. (2006): *Die demographische Lage der Nation – Wie zukunfts-fähig sind Deutschlands Regionen?* Berlin-Institut für Bevölkerung und Entwicklung, dtv, München.
- Land Brandenburg (2003a): *Richtlinie über den Einsatz von Kleinkläranlagen vom 28. März 2003*. Download unter [www.brandenburg.de/cms/detail.php?id=118459&\\_siteid=32](http://www.brandenburg.de/cms/detail.php?id=118459&_siteid=32) (14.05.06).
- Land Brandenburg (Hrsg.) (2003b): *Abwasserentsorgung in Brandenburg – Orientierungswerte Jahr 2003*. Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung (MLUR). Eigenverlag.
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (2005): *Leitlinien zur Durchführung Dynamischer Kosten-vergleichsrechnungen (KVR-Leitlinien)*.
- Leist, H.-J. (2007): *Wasserversorgung in Deutschland – Kritik und Lösungsansätze*. oekom verlag.
- Libbe, J. (2008a): Die Zukunft der städtischen Infrastrukturen – Editorial. In: *Dkf – Deutsche Zeitschrift für Kommunalwissenschaften* (2008): *Im Brennpunkt: Die Zukunft der städtischen Infrastrukturen*. Heft 2/2008, S. 5-16.
- Libbe, J. (2008b): *Infrastrukturplanung als kommunale Aufgabe: Aktuelle Herausforderungen und Handlungsbedarfe*. In: *Dkf – Deutsche Zeitschrift für Kommunalwissenschaften* (2008): *Im Brennpunkt: Die Zukunft der städtischen Infrastrukturen*. Heft 2/2008, S. 17-36.
- Lucas, S. (2003): *Auftreten, Ursachen und Auswirkungen hoher Fremdwasserabflüsse – eine zeitliche und räumliche Analyse*. Universität Karlsruhe, Fak. f. Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften.
- Mäding, H. (2004): *Demographischer Wandel und Kommunalfinanzen – Einige Trends und Erwartungen*. In: *Deutsche Zeitschrift für Kommunalwissenschaften* (2004): *Im Brennpunkt: Demographischer Wandel in Kommunen*. Heft 1/2004, S. 84-102.
- Mäding, H. (2007): *Demographischer Wandel und Kommunalfinanzen*. Vortrag im Rahmen der Ringvorlesung: *Der demographische Wandel und seine Folgen* am 15.10.2007, Zentrum Demographischer Wandel der TU Dresden.
- Marschke, L. (2004): *Stadttechnik im Umbauprozess: Probleme und Lösungsansätze*. In: Herz, R. (Hrsg.): *Stadtumbau und Anpassung der Wärmeversorgungs-systeme*. 5. Kolloquium Stadtbauwesen am 30.1.2004. TU Dresden, Lehrstuhl Stadtbauwesen, S. 79-86.
- Maus, H.; Schröder, M. (2000): *Entscheidungsfindung zur zentralen und dezentralen Abwasserentsorgung im Ländlichen Raum*. In: *KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall* 2000 (47), Nr. 10., S. 1427-1433.
- Meinel, G.; Hecht, R.; Herold, H.; Schiller, G. (2008a): *Automatische Ableitung von stadtstrukturellen Grundlagen und Integration in einem Geographischen Informationssystem*. BBR Reihe Forschungen, Heft 134, Bonn.
- Meinel, G.; Knop, M.; Hecht, R. (2008b): *Qualitätsaspekte und Verfügbarkeit digitaler Geobasisdaten in Deutschland unter besonderer Berücksichtigung des ATKIS Basis-DLM und der DTK25(-V)*. In: *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation*, Heft 1/2008, S. 29-40.

- Meise, J.; Volwahren, A. (1980): Stadt- und Regionalplanung – Ein Methodenhandbuch. Vieweg, Wiesbaden.
- Menkhoff, H.; Blum, A.; Bendisch, E.; Wente, E. (1979): Städtebauliche Verdichtung und ihre Bewertung. Querschnittsuntersuchung von Demonstrativbauvorhaben. Schriftenreihe "Versuchs- und Vergleichsbauten und Demonstrativmaßnahmen" des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Heft 01.067. Bonn.
- Miele (2003): Informationen der Öffentlichkeitsarbeit der Miele & Cie. KG.
- Mohajeri, S.; Schön, S. (2008): Zukunftsfähige Abwasserinfrastruktur in schrumpfenden Regionen. In: *Infrastrukturrecht*, Nr. 11 2008, 5. Jg, Sonderausgabe Kommunales Infrastrukturmanagement, S. 326-232.
- Moss, T. (2008): „Cold Spots“ stadttechnischer Systeme. Herausforderungen für das moderne Infrastruktur-Ideal in schrumpfenden ostdeutschen Stadtregionen. In: Moss, T.; Naumann, W.; Wissen, M. (Hrsg.) *Infrastrukturnetze und Raumentwicklung*. oekom verlag, München.
- Müller, B. (2004): Demographischer Wandel und die Folgen für die Städte – Einführung und Übersicht. In: *Dkf – Deutsche Zeitschrift für Kommunalwissenschaften* (2004): Im Brennpunkt: Demographischer Wandel in Kommunen. Heft 1/2004, S. 5-13.
- Müller, B.; Siedentop, S. (2004): Wachstum und Schrumpfung in Deutschland – Trends, Perspektiven und Herausforderungen für die räumliche Planung und Entwicklung. In: *Dkf – Deutsche Zeitschrift für Kommunalwissenschaften* (2004): Im Brennpunkt: Demographischer Wandel in Kommunen. Heft 1/2004, S. 14-32.
- Niedersächsisches Umweltministerium (Hrsg.) (2002): Abschlussbericht der Regierungskommission Zukunftsfähige Wasserversorgung in Niedersachsen. Graue Reihe. Eigenverlag.
- Obernosterer, R.; Möslinger, J.; Brunner, P.-H. (1998): Der Einfluß der Raumplanung auf den regionalen Stoff- und Energiehaushalt. Ein Beitrag zur Bestimmung und Quantifizierung. Vorentwurf eines Gutachtens im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Jugend und Familie. Wien.
- Oldenburg, M.; Otterpohl, R. (2001): „Umsetzung neuer Entwässerungskonzepte am Beispiel der ökologischen Wohnsiedlung Flintenbreite in Lübeck und der Lambertsmühle bei Burscheid“, Beitrag zum Seminar „Neue Wege in der Siedlungsentwässerung“, Karlsruhe.
- Otto, U. (2000): Optimierung des Einsatzes von Kleinkläranlagen. In: *KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall* 2000 (47) Nr. 10, S. 1514-1524.
- Pauleit, S. (1998): Das Umweltwirkgefüge städtischer Siedlungsstrukturen - Darstellung des städtischen Ökosystems durch eine Strukturtypenkartierung zur Bestimmung von Umweltqualitätszielen für die Stadtplanung. *Landschaftsökologie* Weihenstephan; TU München, Lehrstuhl f. Landschaftsökologie. Dissertation. Weihenstephan.
- Planungsbüro Abwasser TW GbR (2002): Kostenvergleichsrechnung für die Ortsentwässerung Prietitz. Gutachten im Auftrag des Abwasserzweckverbandes „Obere Schwarze Elster“. (unveröffentlicht).
- Reidenbach, M. u. a. (2002): Der Kommunale Investitionsbedarf. Eine Schätzung für die Jahre 2000 bis 2009, *Difu-Beiträge zur Stadtforschung*, Bd. 35, Berlin.
- Reidenbach, M.; Bracher, T.; Grabow, B.; Schneider, S.; Seidel-Schulze, A. (2008): Investitionsrückstand und Investitionsbedarf der Kommunen, Ausmaß, Ursachen, Folgen, Strategien. *Edition Difu – Stadt Forschung Praxis* Bd. 4, Deutsches Institut für Urbanistik, Berlin.
- Rendigs, S.; Tranow, I. (2006): Dezentrale Abwasserentsorgung im urbanen Raum. Ermittlung und Analyse von Eignungsgebieten in Hagen und Magdeburg. Diplomarbeit Universität Dortmund, Fakultät Raumplanung.
- Rhein-Siegkreis (o. A.): Erläuterungen zu den Bodenrichtwertangaben. ([http://www.rhein-siegkreis.de/imperia/md/content/cms100/buergerservice/aemter/amt\\_62/bodenrw00.pdf](http://www.rhein-siegkreis.de/imperia/md/content/cms100/buergerservice/aemter/amt_62/bodenrw00.pdf)) (Abrufdatum: 18.05.2008).

- Ripl, W. (2004): Landschaftswasserhaushalt und Stoffströme. In: SPD-Landschaftsfraktion Brandenburg (Hrsg.): Kostenentlastung durch kluge Lösungen. Initiativen der SPD-Landschaftsfraktion zur Durchsetzung einer Kostensenkenden Abwasserreinigung in Brandenburg, Potsdam. S. 15-24.
- Roth, U. et al. (1980): Wechselwirkungen zwischen Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen. Schriftenreihe Raumordnung des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau; 06.044. Bonn.
- Rothenberger, D. (2003a): Dynamik der Veränderungskräfte in der Abwasserentsorgung. In: EWAG news 57, S. 11-13.
- Rothenberger, D. (2003b): Report zur Entwicklung des Versorgungssektors Wasser. Integrierte Mikrosysteme der Versorgung. Dynamik, Nachhaltigkeit und Gestaltung von Transformationsprozessen in der netzgebundenen Versorgung. BMBF-Forschungsvorhaben. (mikrosysteme.org/documents /Report\_Wasser.pdf , 22.09.05).
- Rudolph, K.-U.; Schäfer, D. (2001): Untersuchung zum internationalen Stand und der Entwicklung alternativer Wassersysteme. BMBF-Forschungsvorhaben. (www.gtz.de/ecosan/download /altwatersys-de.pdf (22.09.05).
- SächsBO (2004): Sächsische Bauordnung, Fassung vom 28. Mai 2004.
- SächsGemO (2007): Gemeindeordnung für den Freistaat Sachsen. In der Fassung der Bekanntmachung vom 18. März 2003 (GVBl S. 55), zuletzt geändert durch Gesetz vom 7. November 2007 (SächsBVBl S. 478).
- SächsKAG (2005): Sächsisches Kommunalabgabengesetz. Neufassung in der Bekanntmachung vom 26. August 2004 [Berichtigt 4. Oktober 2005, S. 306]. Rechtsbereinigt mit Stand vom 30. Juli 2005.
- Sander, T. (2003): Ökonomie der Abwasserbeseitigung. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Scheele, U. (2008): Transformation städtischer Wasser-Infrastrukturen: Internationale Erfahrungen. netWorks-Papers, Heft 25, difu, Berlin.
- Schiller G. (2009): Auf großem Fuße – Eigennutzen auf Kosten des Gemeinwohls. In: Wissenschaft Umwelt Interdisziplinär. Heft 1/2 2009, S. 44-54.
- Schiller, G.; Gutsche, J.-M. (2009): Von der Außen- zur Innenentwicklung von Städten und Gemeinden – Erarbeitung von Handlungsvorschlägen sowie Analysen der ökologischen, ökonomischen und sozialen Wirkungen einer Neuorientierung der Siedlungspolitik (Langtitel). Das Kostenparadoxon der Baulandentwicklung (Kurztitel), UBA-Texte 31/2009, Dessau.
- Schiller, G.; Gutsche, J.-M. (2009): Das Kostenparadoxon der Baulandentwicklung - Finanzstrukturelle Mechanismen, die unsere Stadtregionen teurer machen. In: Mäding, H. (2009): Öffentliche Finanzströme und räumliche Entwicklung. ARL Forschungs- und Sitzungsberichte 232, Hannover.
- Schiller, G.; Siedentop, S. (2005): Infrastrukturfolgekosten der Siedlungsentwicklung unter Schrumpfungsbedingungen. In DISP, 160 1/2005, S. 83-93.
- Schleich, J.; Hillebrand, T. (2007): Determinants of Residential Water Demand in Germany. Working Paper Sustainability and Innovation No. S 3/2007. Fraunhofer Institute Systems and Innovation Research, Karlsruhe.
- Schlömer, C. (2006): Bestimmungsfaktoren der zukünftigen räumlichen demographischen Entwicklung in Deutschland. In: Gans, P.; Schmitz-Veltin, A. (Hrsg.) (2006): Räumliche Konsequenzen des demographischen Wandels, Teil 6: Demographische Trends in Deutschland – Folgen für Städte und Regionen. ARL Forschungs- und Sitzungsberichte 226, Hannover.
- Schmidt, D. (2007): Erstellen eines Katasters zu Gebäudeleerständen, Nachfolgenutzungen und Vermarktungsstrategien. Vortragsfolien. Download unter: [www.samtgemeinde-oderwald.de/media/custom/175\\_343\\_1.PDF](http://www.samtgemeinde-oderwald.de/media/custom/175_343_1.PDF) (13.02.2008).

- Schmitz, H.; Krings, E.; Dahlhaus, U.; Meisel, U. (1997): Baukosten – Instandsetzung, Sanierung, Modernisierung, Umnutzung. Arbeitshilfen zur Konstruktionswahl und Planung, Kostenschätzung und Kostenberechnung. Verlag für Wirtschaft und Verwaltung Hubert Wingen, Essen.
- Schneidmadl, J.; Fuchs, S.; Hillenbrand, T. (2000): Vergleichende Ökobilanz unterschiedlicher Abwasserkonzepte. In: KA-Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall 2000 (47) Nr. 5, S. 681-696.
- Schulze, D. (1994): Ratgeber für die kommunale Abwasserentsorgung, Mercedes- oder Vernunftlösung? Verlag für Bauwesen GmbH, Berlin.
- Schulze, H.-J.; Walther, P. (1990): Gebäudeatlas – Mehrfamilienwohngebäude der Baujahre 1880 bis 1980. Teil 1: Fachwerkbauten und Wohngebäude in Mauerwerksbauweise. Teil 2: Wohngebäude in Block-, Streifen-, Platten- und Skelettbauweise. Bauakademie der DDR. Schulze und Walther (1990).
- Selle, O. (2004): Sanierung von Kleinkläranlagen. Vortragsmanuskript der Tagung „Kleinkläranlagen – Stiefkinder der Abwasserentsorgung“. Leipzig, 21. 09. 2004.
- Siedentop, S.; Schiller, G.; Koziol, M.; Walther, J.; Gutsche, J.-M. (2006): Siedlungsentwicklung und Infrastrukturfolgekosten – Bilanzierung und Strategieentwicklung. BBR-Online-Publikation Nr. 3/2006, Bonn.
- SMUL 2007: Richtlinie des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft zur Förderung von Maßnahmen der Siedlungswasserwirtschaft (Förderrichtlinie Siedlungswasserwirtschaft – RL SWW/2007) vom 2.3.2007 (<http://www.smul.sachsen.de/foerderung/344.htm>). k F.
- Stahl, H.-W. (2006): Schnelleinstieg Kostenrechnung: Schritt für Schritt zur Kostentransparenz und -steuerung. Haufe Verlag.
- Statistische Ämter des Bundes und der Länder (2007): Statistik lokal – Ausgabe 2007 (Gebietsstand 31.12.2005).
- Statistisches Bundesamt (1998): Bautätigkeit und Wohnungen, Fachserie 5. Gebäude- und Wohnungszählung vom 30. September 1995 in den neuen Ländern und Berlin Ost. Heft 8, Ausgewählte Strukturdaten für nichtadministrative Gebietseinheiten. Verlag Metzler Poeschel, Stuttgart.
- Statistisches Bundesamt (2000): 50 Jahre Wohnen in Deutschland. Ergebnisse aus Gebäude- und Wohnungszählungen, -stichproben, Mikrozensus-Ergänzungserhebungen und Bautätigkeitsstatistiken. Verlag Metzler Poeschel, Stuttgart.
- Statistisches Bundesamt (2001): Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 1998, Umwelt, Fachserie 19, Reihe 2.1, Verlag Metzler Pöschel, Stuttgart.
- Statistisches Bundesamt (2003a): Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2001. Fachserie 19, Reihe 2.1. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2003b): Bautätigkeit und Wohnungen, Fachserie 5, Reihe 1, Bautätigkeit, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2003c): Bevölkerung in Deutschland bis 2050. 10. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung, Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2004): Bautätigkeit und Wohnungen, Mikrozensus-Zusatzerhebungen 2002, Bestand und Struktur der Wohneinheiten, Wohnsituation der Haushalte. Fachserie 5, Heft 1.
- Statistisches Bundesamt (2006a): Bevölkerung in Deutschland bis 2050. 11. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2006b): Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2004. Fachserie 19, Reihe 2.1. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2006c): Bewohnte Wohneinheiten in Wohngebäuden und sonstigen Gebäuden mit Wohnraum nach Belegung und Fläche. Ergebnisse aus Mikrozensususerhebungen 2006.

- Statistisches Bundesamt (2007): Bevölkerung Deutschlands nach Bundesländern bis 2050. Ergebnisse der 11. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung nach Ländern. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2008a): Nachhaltige Entwicklung in Deutschland – Indikatorenbericht 2008. Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt (2008b): Bautätigkeit und Wohnungen, Mikrozensus-Zusatzerhebungen 2006, Bestand und Struktur der Wohneinheiten, Wohnsituation der Haushalte. Fachserie 5, Heft 1.
- Statistisches Landesamt des Freistaates Sachsen (ohne Jahresangabe): 4. Regionalisierte Bevölkerungsprognose für den Freistaat Sachsen bis 2020. <http://www.statistik.sachsen.de/bevprog/> (Abrufdatum 15.02.2008).
- Streich, B. (2005): Stadtplanung in der Wissensgesellschaft. Ein Handbuch. VS Verlag f. Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- Svoboda (2002): Abwasser: Technische Behandlung in kommunalen Kläranlagen. Geographisches Institut der Universität Kiel, Mittelseminar: Gewässerschutz und -management, Kiel.
- Thieme, G. (2005): Rückbau von stadttechnischen Ver- und Entsorgungsleitungen unter rechtlichen, ökologischen und ökonomischen Aspekten. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Stadtbauwesen, TU Dresden.
- Thurn, T.; Winkler-Kühlken, B. (2005): Anpassungsstrategien für ländlich periphere Regionen mit starkem Bevölkerungsrückgang in den Neuen Ländern. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Werkstadtt Praxis Heft 38, Bonn, Eigenverlag.
- Tietz, H.-P. (2006): Auswirkungen des demographischen Wandels auf die Netzinfrastruktur. In: Gans, P.; Schmitz-Veltin, A. (Hrsg.) (2006): Räumliche Konsequenzen des demographischen Wandels, Teil 6: Demographische Trends in Deutschland – Folgen für Städte und Regionen. ARL Forschungs- und Sitzungsberichte 226, Hannover.
- Tietz, H.-P. (2008): Funktionen und räumliche Strukturen kommunaler Ver- und Entsorgungssysteme. In: Deutsche Zeitschrift für Kommunalwissenschaften, Heft 2/2008: Im Brennpunkt: Die Zukunft der städtischen Infrastrukturen, S. 37-53.
- Triebel, A. (2001): Analyse der technischen Infrastrukturausstattung von Wohngebieten unterschiedlicher Bebauung. Diplomarbeit am Institut für Stadtbauwesen und Straßenbau der TU Dresden.
- Truffer, B.; Bauknecht, D.; Jäger, T. (2003): Die Wandlungsdimensionen als zentrale Beschreibungsfaktoren künftiger Entwicklungspotenziale. Interner Bericht im Rahmen des BMBF „Integrierte Mikrosysteme der Versorgung“. Dynamik, Nachhaltigkeit und Gestaltung von Transformationsprozessen in der netzgebundenen Versorgung. ([www.sozial-oekologische-forschung.org](http://www.sozial-oekologische-forschung.org) – 21.08.06).
- Umweltbundesamt (2002): Wasser ist zum ... sparen da! – Von der Regenwassernutzung und einigen anderen Möglichkeiten, Trinkwasser zu sparen. Berlin.
- VOB Teil C „Erdarbeiten“.
- Walther, J. (2006): Siedlungsentwicklung und Infrastrukturfolgekosten – Bilanzierung und Strategieentwicklung. Technische Infrastruktur: Methodik und Ergebnisse des Fallbeispiels. Vortrag bei der Abschlussveranstaltung des BBR Vorhabens Siedlungsentwicklung und Infrastrukturfolgekosten – Bilanzierung und Strategieentwicklung am 09.03.2006 in Ludwigsfelde.
- Weeber, H.; Rees, M. (1999): Kostenfaktor Erschließungsanlagen. Bauforschung für die Praxis, Bd. 50. Stuttgart.
- Werheit, M. (2002): Monitoring einer nachhaltigen Stadtentwicklung. Dortmunder Beiträge zur Raumplanung: Blaue Reihe. Institut für Raumplanung, TU Dortmund.
- Westphal, C. (2008): Dichte und Schrumpfung. Kriterien zur Bestimmung angemessener Dichten in Wohnquartieren schrumpfender Städte aus Sicht der stadttechnischen Infrastrukturen. IÖR-Schriften, Band 49, Dresden.

- WHG (2008): Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz-WHG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 19. August 2002 (BGBl. I S. 3245), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 22. Dezember 2008 (BGBl. I S. 2986) geändert worden ist.
- Wickop E.; Böhm, P.; Eitner, K.; Breuste, J. (1998): Qualitätszielkonzept für Stadtstrukturtypen am Beispiel der Stadt Leipzig – Entwicklung einer Methodik zur Operationalisierung einer nachhaltigen Stadtentwicklung auf der Ebene von Stadtstrukturen. UFZ-Bericht 14/1998. Leipzig/Halle.
- Wickop, E. (1999): Qualitätsziele für eine nachhaltige Stadtentwicklung – Methodische Aspekte eines Konzeptes für Stadtstrukturtypen am Beispiel der Stadt Leipzig. Zeitschrift für angewandte Umweltforschung. Jg. 12 (1999), H. 1, S. 98-110.
- Wilderer, P.; Schreff, D.; Arnold, E.: (1998): Dezentrale Abwasserentsorgung: Eine Herausforderung für die Zukunft. In: Dezentrale Abwasserbehandlung für ländliche und urbane Gebiete. 27. Abwassertechnisches Seminar Garching. S. 1-12.
- Wöbbeking, K.-H.; Michel, B.; Schaubrich, W. (2002): Entwicklung eines betrieblichen Kennzahlenvergleichs für die öffentliche Wasserversorgung und kommunale Abwasserentsorgung in Hessen – BKWasser 2000 – Sachstandsbericht zum Erhebungsjahr 2000. Mainz, Darmstadt.
- Wöhe, G. (2002): Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre. München: Vahlen Verlag.





## Abbildungsverzeichnis

|                |   |    |
|----------------|---|----|
| Abbildung 0-1: | Kostenbilanzverlauf der Dezentralisierungspfade bezogen auf den Dezentalisierungsgrad (Fläche) .....  | 20 |
| Abbildung 0-2: | Module, Inputdaten und Outputdaten des Bewertungsverfahrens im Überblick .....  | 24 |
| Abbildung 0-3: | Aufzeigen von Optionsräumen durch Variation der Eingangsparameter, dargestellt am Beispiel des Pfades „LEP“ unter Beachtung der entwickelten Extrembilder .....   | 25 |
| Abbildung 1-1: | Bevölkerungsentwicklung 2003 bis 2020 in den Landkreisen und kreisfreien Städten (in Prozent) (Quelle: Flöthmann et al. 2006, 15) .....   | 29 |
| Abbildung 2-1: | Kanallängen der Schmutzwasserableitung im Misch- und Trennverfahren - Anteile an der Gesamtnetzlänge (2004) (eigene Berechnung auf Grundlage von Statistisches Bundesamt 2006b) .....   | 47 |
| Abbildung 2-2: | Anschlussgrad und Siedlungsdichte in den Flächenstaaten Deutschlands in den Jahren 2001 und 2004 (eigene Berechnung auf Grundlage von Statistisches Bundesamt 2003a, 2006b und Angaben aus der Flächen- und Bevölkerungsstatistik) .....  | 48 |
| Abbildung 2-3: | Anschlussgrad an die öffentliche Abwasserentsorgung in Deutschland nach Gemeindegrößenklassen (Datenquelle: Statistisches Bundesamt 2003a, 2006b) .....   | 49 |
| Abbildung 2-4: | Spezifische Kanallängen je angeschlossenem Einwohner von 1991 bis 2004 (Quelle: Statistisches Bundesamt 2006b) .....  | 50 |
| Abbildung 2-5: | Altersstruktur der Kanalisation in den Alten und Neuen Ländern (Quelle: Statistisches Bundesamt 2006b) .....  | 51 |
| Abbildung 3-1: | Elemente zentraler und dezentraler Abwasserbeseitigung (Quelle: Geyler, Holländer 2005: 8) .....  | 58 |
| Abbildung 4-1: | Entwicklung des Wasserverbrauches in ausgewählten Städten (Quelle: Koziol et al. 2006: 46) .....  | 62 |
| Abbildung 4-2: | Spezifische Längen von Schmutz- und Trinkwasserkanälen, hier bezogen auf die Geschossflächendichte (=realisierte Geschossflächenzahl), basierend auf empirischen Erhebungen in Gebietsausschnitten (Quartiersebene) mit homogener Bebauungsstruktur (verändert nach Siedentop et al. 2006, 109) ..... | 64 |
| Abbildung 4-3: | Siedlungsdichte und Länge der öffentlichen Kanalisation in Meter je Einwohner nach Bundesländern 2001 und 2004 (ohne Niedersachsen und Thüringen) (Berechnungen von Westphal 2008 nach Angaben der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder) (verändert nach Westphal 2008, 204) .....           | 64 |
| Abbildung 4-4: | Prinzipiskizze zum Verlauf spezifischer Jahreskosten zentraler und dezentraler Systemlösungen in Abhängigkeit der Dichte (verändert nach Geyler, Holländer 2005, 10) .....  | 66 |
| Abbildung 4-5: | Effekt der Kostenremanenz (verändert nach Junkernheinrich, Micosatt 2005, 82) .....   | 68 |
| Abbildung 5-1: | Lage des Untersuchungsgebietes innerhalb Sachsens (dargestellt sind Gemeindegrenzen im Land Sachsen) .....  | 71 |
| Abbildung 5-2: | Siedlungsstruktur im Untersuchungsgebiet .....  | 74 |

|                |   |     |
|----------------|---|-----|
| Abbildung 6-1: | Stadtstrukturtypen zur Analyse von Bauwerken in Wohngebieten im Rahmen stofflich-energetischer Untersuchungen.....  | 77  |
| Abbildung 6-2: | Automatische Gebäudedetektion und -vektorisierung (Quelle: Meinel et al. 2008a, 32).....  | 79  |
| Abbildung 6-3: | Aktualität der verwendeten DTK25(V) – Kartenausschnitte .....   | 82  |
| Abbildung 6-4: | Ergebnisse der automatischen Gebäudeextraktion und -attributierung sowie der manuellen Nachkartierung am Beispiel eines dörflichen und eines städtischen Gebietsausschnittes .....  | 84  |
| Abbildung 6-5: | Ergebnis der Gebäudetypenkartierung am Beispiel eines größeren Gebietsausschnittes des Untersuchungsgebietes (Hauptort und angrenzende dörfliche Ortslagen).....  | 85  |
| Abbildung 6-6: | Verfahren der Entwicklung von Nachfrageparametern, angepasst an die siedlungsstrukturellen Verhältnisse des Untersuchungsgebietes .....   | 88  |
| Abbildung 6-7: | Mittlere Geschosshöhe und mittlere Wohnungsgröße im Wohngebäudebestand Sachsens, Dresdens und den Gemeinden im Untersuchungsgebiet, nach Teilbeständen (eigene Berechnungen auf Grundlage von Daten der Gebäude- und Wohnungszählung 1995, Sonderauswertung durch das Statistische Landesamt Sachsen) ..... | 91  |
| Abbildung 6-8: | Wohnungsbelegung in Deutschland nach Gebäudetyp - eigene Darstellung auf Grundlage von Daten aus Statistisches Bundesamt (2006) .....   | 101 |
| Abbildung 7-1: | Ausgangsdaten zur Beschreibung der Netzdaten .....  | 109 |
| Abbildung 7-2: | Erhobenes Schmutzwasserleitungsnetz im Untersuchungsgebiet.....   | 111 |
| Abbildung 7-3: | Ermittelte Baualtersstruktur der Kanäle (Schmutz- und Mischwasser) im Untersuchungsgebiet.....  | 115 |
| Abbildung 7-4: | Kanalnetz nach Baualtersklassen.....  | 116 |
| Abbildung 7-5: | Schemazeichnung einer KKA-Komplettlösung (Membranverfahren) für Ein- und Mehrfamilienhäuser mit Keller (verändert nach BusseMF 2009) .....  | 119 |
| Abbildung 7-6: | Spezifische Anschaffungskosten von KKA nach Ausbaugröße. Dargestellt sind Mittelwerte für Anlagenpreis incl. Einbau, ermittelt aus Angebotsunterlagen für KKA mit vergleichbarem Leistungsumfang, aber unterschiedlicher Bauart und Verfahrenstechnik (Quelle: Bokatec 2003) .....                          | 120 |
| Abbildung 8-1: | Physische Überlagerung von Flächendaten des Siedlungsmodells mit Liniendaten des Mengengerüsts .....  | 125 |
| Abbildung 8-2: | Verwendung von Rastersystemen als Bezugssystem für Flächendaten des Siedlungsmodells und Infrastruktur-Liniendaten .....  | 127 |
| Abbildung 8-3: | Auszug aus dem Lageplan eines Entwässerungsentwurfs für Trennsystem, Quelle: Hosang, Bischof 1998, 119 .....  | 128 |
| Abbildung 8-4: | Abgrenzung des Einzugsbereichs der Kanäle durch Bildung einer Pufferzone um den Kanalverlauf mit definiertem Radius.....  | 131 |
| Abbildung 8-5: | Abgrenzung von Entsorgungseinheiten (EE) unter Beachtung abwassertechnischer Entwurfskriterien sowie von Homogenitätskriterien hinsichtlich der anliegenden Bebauung .....  | 133 |
| Abbildung 8-6: | Unterscheidung von Entsorgungseinheiten nach funktionalen Kriterien .....   | 136 |
| Abbildung 9-1: | Verteilung der Netzenden im Untersuchungsgebiet.....  | 140 |

|                  |   |     |
|------------------|---|-----|
| Abbildung 9-2:   | Anteil der äußeren Erschließung am erforderlichen Kanalaufwand in den EE bei unterschiedlichen Zuständen .....  | 141 |
| Abbildung 9-3:   | Anteil der äußeren Erschließung am Kanalaufwand und Kanalaufwand gesamt .....   | 142 |
| Abbildung 9-4:   | Räumliche Ausprägung von Kanal-Baualter und Kanalaufwand .....  | 143 |
| Abbildung 9-5:   | Lokales Kosteneinsparpotenzial je angeschlossenem EGW (spez. LEP) in allen EE (linke Abbildung) und in den EE an den Netzen (rechte Abbildung) .....  | 145 |
| Abbildung 9-6:   | Transformationssequenzen der alternativen Dezentralisierungspfade .....   | 148 |
| Abbildung 11-1:  | Gebietstypen zur intraregionalen Ausdifferenzierung der Bevölkerungsdynamik .....   | 175 |
| Abbildung 12-1:  | Transformationskosten und Kostenentlastungen nach Kostenarten je Dezentralisierungsschritt am Beispiel eines Ausschnitts des Dezentralisierungspades „Kanalaufwand“ .....   | 180 |
| Abbildung 12-2:  | Kumulierte Transformationskosten und kumulierte Kostenentlastungen eines Ausschnitts des Dezentralisierungspades „Kanalaufwand“ .....   | 181 |
| Abbildung 12-3:  | Kostenbilanzverlauf aus kumulierten Kostenentlastungen minus kumulierten Transformationskosten eines Abschnitts des Dezentralisierungspades „Kanalaufwand“, bezogen auf den flächenbezogenen DG sowie den einwohnerbezogenen DG ..... | 182 |
| Abbildung 12-4:  | Kostenbilanzverlauf der Dezentralisierungspfade „Kanalaufwand“, „Baualter“ und „Lokales Kosteneinsparpotenzial“ bezogen auf den Dezentralisierungsgrad (Fläche) .....   | 182 |
| Abbildung 12-5:  | Verortung der abgekoppelten Entsorgungseinheiten in den alternativen Dezentralisierungspfaden im Zustand des maximalen Dezentralisierungsgrades .....   | 184 |
| Abbildung 12-6:  | Veränderungsrate des Annuitätenfaktors bei Zinsänderung unter Berücksichtigung unterschiedlicher Nutzungsdauern .....   | 187 |
| Abbildung 12-7:  | Sensitivitäten der Zielgrößen der Kostenbewertung in den drei Dezentralisierungspfaden .....  | 195 |
| Abbildung 12-8:  | Merkmalsausprägungen der Zielgrößen bei Variation der Einzelparameter .....   | 196 |
| Abbildung 12-9:  | Kostenstruktur in den Dezentralisierungspfaden „Kanalaufwand“ und „Baualter“ bei maximalem Dezentralisierungsgrad ( $DZ_{max}$ ) unter Referenzbedingungen .....  | 197 |
| Abbildung 12-10: | Verlauf der Bilanzwerte bei Extremannahmen in den Pfaden Kanalaufwand und LEP .....   | 200 |
| Abbildung 12-11: | Räumliche Strukturbilder im Zustand „maximaler Dezentralisierungsgrad“ der Pfade „Kanalaufwand“ und „LEP“ in den Extrembildern .....  | 201 |
| Abbildung 13-1:  | Mengengerüst der Modellbetrachtung „Unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten im verbleibenden Netz“ .....   | 207 |
| Abbildung 13-2:  | Kostenbilanz der Vergleichsrechnung unter der Modellannahme „altes Netz“ .....  | 211 |
| Abbildung 13-3:  | Dezentralisierungsbild im Zustand „maximal positiver Dezentralisierungsgrad“ des Pfades „Kanalaufwand“ unter der Annahme „altes Netz“ .....   | 211 |

Abbildung 13-4: Aufzeigen von Optionsräumen durch Variation der Eingangsparameter – hier dargestellt am Beispiel des Pfades „LEP“ unter Beachtung der in Abschnitt 12.3 entwickelten Extrembilder..... 220

Abbildung 14-1: Module, Inputdaten und Outputdaten des Bewertungsverfahrens im Überblick..... 227

Abbildung A-1: Kostenfunktion Investitionsausgaben KKA (Behandlung), überschlägig ermittelt auf Grundlage von Daten aus Bokatec (2003) ..... 254

Abbildung A-2: Kostenfunktion Investitionsausgaben KKA (Ableitung), überschlägig ermittelt auf Grundlage von Daten aus Planungsbüro Abwasser (2002) ..... 254

## Tabellenverzeichnis

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| Tabelle 1-1:  | Forschungskonzept.....  | 40  |
| Tabelle 5-1:  | Strukturdaten des Untersuchungsgebietes (Quelle: Bevölkerungsstatistik des statistischen Landesamtes des Freistaates Sachsen).....  | 73  |
| Tabelle 6-1:  | Verwendete Gebäudetypologie von Meinel et al. (2008a) (verändert nach Meinel et al. 2008a: 16) .....  | 80  |
| Tabelle 6-2:  | In SEMENTA implementierte Standardparameter für WGD und EGD für die verwendeten Wohngebäudetypen (verändert nach Meinel et al. 2008a, 40) .....   | 81  |
| Tabelle 6-3:  | Zuordnung von Baualtersklassen der Gebäude- und Wohnungsstatistik zu den Modellgebäudetypen in Anlehnung an Buchert et al. 2004.....  | 93  |
| Tabelle 6-4:  | Regionalisierte Geschosshöhe nach Gebäudetyp, bezogen auf den Wohngebäudebestand im Untersuchungsgebiet (Eigene Auswertung auf Grundlage von Daten der Gebäude- und Wohnungszählung 1995) ..... | 94  |
| Tabelle 6-5:  | In SEMENTA implementierte Standardparameter zur Geschosshöhe für die verwendeten Wohngebäudetypen (verändert nach Meinel et al. 2008a, 40) .....  | 94  |
| Tabelle 6-6:  | Faktoren zur Berücksichtigung des Anteils Nichtwohnnutzung im Wohngebäudebestand des Untersuchungsraumes.....   | 96  |
| Tabelle 6-7:  | Ausprägungen der regionalisierten Wohnungsgrundflächendichte.....   | 98  |
| Tabelle 6-8:  | Verteilung des Wohnungsbestandes auf die Gebäudetypen im Untersuchungsgebiet.....   | 98  |
| Tabelle 6-9:  | Modellannahmen zum Wohnungsleerstand.....   | 101 |
| Tabelle 6-10: | Modellannahmen zur Wohnungsbelegung (eigene Annahmen auf Grundlage von Statistisches Bundesamt (2006c)).....  | 102 |
| Tabelle 6-11: | Modellannahme zur Spännerzahl der MFH-Typen .....   | 104 |
| Tabelle 6-12: | Annahmen zur Wohnungsanzahl je Gebäude für die Modellgebäudetypen .....   | 104 |
| Tabelle 6-13: | Angenommene Verteilungsquoten des Wohnungsleerstandes im Gebäudebestand (Faktor Gebäudeleerstand) .....   | 105 |
| Tabelle 7-1:  | Plausibilitätsbetrachtung - spezifische Leitungslänge.....  | 112 |
| Tabelle 7-2:  | Zuordnung von KKA-Typen zu den Modellgebäudetypen .....   | 120 |
| Tabelle 10-1: | Kostenkennwerte „Kapitalkosten und laufende Kosten dezentraler Anlagen“ - eigene Berechnungen auf Grundlage von Angaben aus Planungsbüro Abwasser TW (2002) und Bokatec (2003).....             | 163 |
| Tabelle 10-2: | Kostenkennwert „Stilllegungskosten“, eigene Berechnung auf Grundlage von Angaben zu Stilllegungsausgaben von Siedentop et al. 2006, 149 f. ....   | 165 |
| Tabelle 10-3: | Pauschaler Anteil an den jährlichen Kapitalkosten zur Ermittlung der Kostenkennwerte für laufende Kanalkosten (Quelle: Siedentop et al. 2006, 145 ff.) .....                                    | 166 |
| Tabelle 10-4: | Herstellungsausgaben Kanal (Datengrundlage: Halbach 2003, 16 ff.).....  | 166 |
| Tabelle 10-5: | Kostenkennwerte Kanalkosten, eigene Berechnung auf Grundlage von Halbach 2003, 16 ff. (Herstellungsausgaben) und Siedentop et al. 2006, 145 ff. (laufende Kosten).....                          | 167 |

|               |  |     |
|---------------|--|-----|
| Tabelle 10-6: | Prozentuale Aufschläge auf die jährlichen Betriebskosten zur Schätzung von Kostenkennwerten für unterauslastungsbedingte Kanalbetriebskosten (Quelle Siedentop et al. 2006, 147).....        | 167 |
| Tabelle 10-7: | Bilanz von Transformationskosten und Kostenentlastungen zur Ermittlung des Kosteneinsparpotenzials .....   | 168 |
| Tabelle 11-1: | Modellannahmen zur Bevölkerungsveränderung im Untersuchungsgebiet .....  | 173 |
| Tabelle 11-2: | Modellannahmen zur intraregionalen Ausdifferenzierung der Bevölkerungsdynamik.....   | 174 |
| Tabelle 11-3: | Modellannahmen zur Neubautätigkeit im Betrachtungszeitraum .....   | 176 |
| Tabelle 12-1: | Vergleich der Ausprägungen der Kenngrößen des maximalen Dezentralisierungsgrades und des maximalen Kosteneinsparpotenzials der drei alternativen Dezentralisierungspfade (Referenzfall)..... | 183 |
| Tabelle 12-2: | Parameter, für die Sensitivitätsbetrachtungen durchgeführt werden .....  | 186 |
| Tabelle 12-3: | Nutzungsdauern der Abwasseranlagen, die der Berechnung der relevanten Kapitalkosten der Kostenbilanz zugrunde liegen .....   | 188 |
| Tabelle 12-4: | Zusammenfassende Beschreibung der Wirkungsweisen der Einzelparameter auf die Kostenbilanz bei Parametervariation .....   | 193 |
| Tabelle 12-5: | Bündel der Merkmalsausprägungen zur Formulierung von Extrembildern .....   | 198 |
| Tabelle 12-6: | Ausprägungen der Bewertungsgrößen und Rangfolge der Varianten in den Extrembildern .....   | 199 |
| Tabelle 13-1: | Gegenüberstellung der berechneten maximalen Kosteneinsparpotenziale und geschätzten Gesamtkosten für die Bereitstellung der zentralen Anlagen.....   | 213 |
| Tabelle 14-1: | Module des Bewertungsverfahrens, bezogen auf die zu leistenden Hauptaufgabenblöcke .....   | 226 |
| Tabelle A-1:  | Herstellungsausgaben dezentraler Anlagen (Datengrundlage: Planungsbüro Abwasser (2002), Bokatec (2003)) .....  | 253 |
| Tabelle A-2:  | Laufende Kosten dezentraler Anlagen (Datengrundlage: Planungsbüro Abwasser (2002), Bokatec (2003)) .....   | 253 |
| Tabelle A-3:  | Herstellungsausgaben Kanal (Datengrundlage: Halbach 2003: 16 ff.).....   | 253 |

Anlage Kostenkennwerte

Tabelle A-1: Herstellungsausgaben dezentraler Anlagen (Datengrundlage: Planungsbüro Abwasser (2002), Bokatec (2003))

| Bereich<br><i>Ausbaugröße (EW)</i>     | Herstellungsausgaben (€) |        |        |
|--|--------------------------|--------|--------|
|  | 5                        | 15     | 40     |
| Behandlung (Anlage , Montage, Tiefbau) | 7.370                    | 9.768  | 12.562 |
| Einleitung – direkt (Drainage)         | 2.062                    | 4.396  | 8.639  |
| Einleitung – indirekt                  | 798                      | 798    | 798    |
| Gesamtanlage (Direkteinleitung)        | 9.433                    | 14.164 | 21.201 |
| Gesamtanlage (Indirekteinleitung)      | 8.168                    | 10.566 | 13.360 |

Tabelle A-2: Laufende Kosten dezentraler Anlagen (Datengrundlage: Planungsbüro Abwasser (2002), Bokatec (2003))

| <i>Ausbaugröße (EW)</i> | Laufende Kosten |      |      |            |     |       |
|-------------------------|-----------------|------|------|------------|-----|-------|
|                         | 5               | 15   | 40   | 5          | 15  | 40    |
| Bereich                 | €/EW*a          |      |      | €/Anlage*a |     |       |
| Schlammentsorgung       | 5,3             | 5,3  | 5,3  | 27         | 80  | 212   |
| Energie                 | 11,4            | 11,4 | 11,4 | 57         | 171 | 456   |
| Verschleiß              | 25,9            | 9,5  | 3,9  | 130        | 143 | 156   |
| Wartung/Analyse         | 43,7            | 15,0 | 5,8  | 219        | 225 | 231   |
| Summe                   | 86,4            | 41,3 | 26,4 | 432        | 619 | 1.055 |

Tabelle A-3: Herstellungsausgaben Kanal (Datengrundlage: Halbach 2003: 16 ff.)

| Bereich<br><i>Nennweite (DN)</i>   | Herstellungsausgaben (€/m) |     |     |
|--|----------------------------|-----|-----|
|  | 200                        | 250 | 300 |
| Baukosten Kanal (Straßenbereich, durchschnittliche Bodenverhältnisse, Verlegetiefe: 2,5 m) | 250                        | 273 | 303 |
| Baukosten Schacht (Schachtabstand 50 m)  | 25                         | 25  | 25  |
| Baukosten Kanal Gesamt   | 275                        | 298 | 328 |



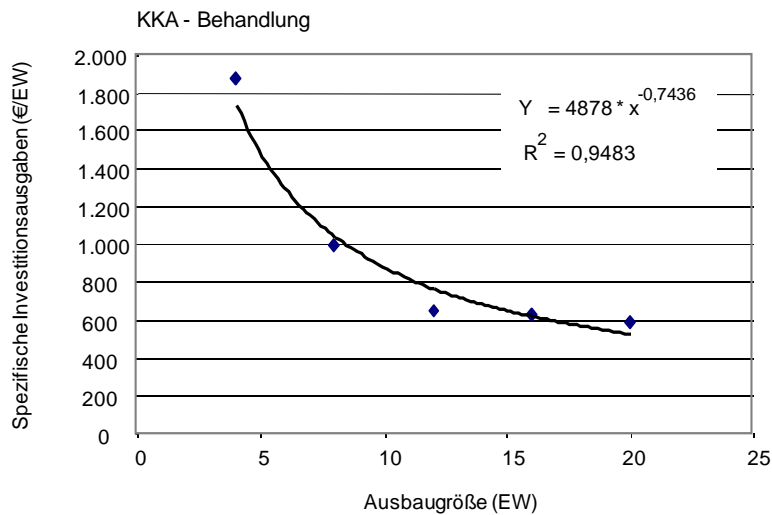


Abbildung A-1: Kostenfunktion Investitionsausgaben KKA (Behandlung), überschlägig ermittelt auf Grundlage von Daten aus Bokatec (2003)

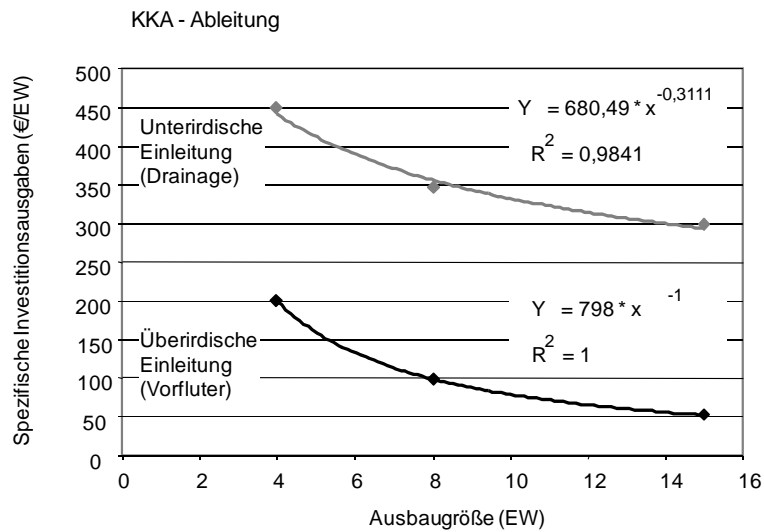


Abbildung A-2: Kostenfunktion Investitionsausgaben KKA (Ableitung), überschlägig ermittelt auf Grundlage von Daten aus Planungsbüro Abwasser (2002)

## **Der Autor**

Georg Schiller, Jahrgang 1965

Studium des Wirtschaftsingenieurwesens an der Technischen Universität Berlin, Abschluss als Dipl.-Ing. 1995. Freier Ingenieur in den Bereichen Baumanagement und Stadtplanung 1996-1998. Postgraduales Studium Altbauinstandsetzung Universität Karlsruhe, Abschluss 1998. Seit 1998 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR) in Dresden. Promotion zum Dr.-Ing. an der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus 2010.

## IÖR Schriften

Herausgegeben vom Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V.

- 50 Stefanie Rößler  
**Freiräume in schrumpfenden Städten – Chancen und Grenzen der Freiraumplanung im Stadtumbau**  
Dresden 2010 (42,50 EUR, RHOMBOS-VERLAG, Berlin)
- 49 Christiane Westphal  
**Dichte und Schrumpfung – Kriterien zur Bestimmung angemessener Dichten in Wohnquartieren schrumpfender Städte aus Sicht der stadttechnischen Infrastruktur**  
Dresden 2008 (19,90 EUR)
- 48 Robert Knippschild  
**Grenzüberschreitende Kooperation: Gestaltung und Management von Kooperationsprozessen in der Raumentwicklung im deutsch-polnisch-tschechischen Grenzraum**  
Dresden 2008 (16,- EUR)
- 47 Günter Arlt, Jörg Hennersdorf, Iris Lehmann, Nguyen Xuan Thinh  
**Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf Grünflächen und Grünvolumen**  
Dresden 2005 (11,- EUR)
- 46 Thorsten Wiechmann, Peter Wirth (Hrsg.)  
**Ökologischer Umbau in Städten und Regionen**  
Dresden 2005 (9,- EUR)
- 45 Thorsten Wiechmann, Sabine v. Löwis, Johann Kaether (Hrsg.)  
**Das Modellvorhaben „Regionen der Zukunft“ Erfahrungen und Schlussfolgerungen für eine nachhaltige Regionalentwicklung in Deutschland**  
Dresden 2004 (12,- EUR)
- 44 Robert Knippschild, Jana Liebe  
**Umweltorientiertes Regionalmanagement in Grenzräumen**  
Dresden 2004 (10,- EUR)
- 43 Ulrich Walz, Gerd Lutze, Alfred Schultz, Ralf-Uwe Syrbe (Hrsg.)  
**Landschaftsstruktur im Kontext von naturräumlicher Vorprägung und Nutzung – Datengrundlagen, Methoden und Anwendungen**  
Dresden 2004 (16,- EUR)
- 42 Jana Bovet  
**Sanierung und Entwicklung als raumordnerische Aufgabe – § 7 Abs. 2 Nr. 2c ROG –**  
Dresden 2003 (10,- EUR)
- 41 Gérard Hutter, Irene Iwanow, Bernhard Müller (Hrsg.)  
**Demographischer Wandel und Strategien der Bestandsentwicklung in Städten und Regionen**  
Dresden 2003 (16,- EUR)
- 40 Olaf Bastian, Karsten Grunewald, Jochen Schanze, Ralf-Uwe Syrbe, Ulrich Walz (Hrsg.)  
**Bewertung und Entwicklung der Landschaft  
Ergebnisse der Jahrestagung IALE-Deutschland 2002 in Dresden**  
Dresden 2003 (12,- EUR)

### Bestellung von Publikationen:

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V., Weberplatz 1, 01217 Dresden  
Sieglinde Sauer, Tel.: (0351) 46 79-205, Fax: (0351) 46 79-212, E-Mail: s.sauer@ioer.de

Rückläufige Bevölkerungszahlen und Siedlungsflächenwachstum führen zu einem Anstieg der Kosten für leitungsgebundene Infrastrukturen. Dies gilt in besonderer Weise für die Abwasserentsorgung, die in Deutschland überwiegend über die öffentliche Kanalisation erfolgt. Bei Neuerschließung können im Falle geringer Siedlungsdichten dezentrale Abwassersysteme Kostenvorteile gegenüber zentralen Systemen aufweisen. Lassen sich aber durch Dezentralisierung auch Kosten im bereits erschlossenen, von Schrumpfung betroffenen, Siedlungsbestand reduzieren?

Um hierauf Antworten zu geben, werden in der vorliegenden Arbeit Kosten der Transformation zentraler Abwassersysteme hin zu stärker dezentral angelegten Strukturen berechnet. Am Beispiel eines realen Abwasser-Entsorgungsgebietes wird ein Verfahren entwickelt, das eine Kostenbewertung der schrittweisen Dezentralisierung technischer Abwassersysteme ermöglicht.

*Declining populations and an expansion in settlement areas have led to a rise in the cost of pipeline networks for household supply and waste removal. This is particularly true of waste-water removal, which in Germany is primarily managed using public sewage systems. The work at hand tries to give answer to the question, if decentralisation can lower costs in the building stock affected by shrinkage, which is already connected to the waste-water network.*